

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

**NÁVRH POLOAUTOMATICKÉHO POLOHOVACÍHO
SYSTÉMU PRO MĚŘENÍ POLOVODIČOVÝCH ČIPŮ**

DESIGN OF A SEMI-AUTOMATIC POSITIONING SYSTEM FOR MEASURING OF SEMICONDUCTOR CHIPS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Kotian

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Alexandr Otáhal, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Tomáš Kotian

ID: 209404

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Návrh poloautomatického polohovacího systému pro měření polovodičových čipů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proveďte rešerši na téma měření polovodičových čipů z pohledu jejich funkce (Probe Card System). Navrhněte polohovací systém s krokovými motory pro řízení osy X, Y a Z (pro kameru a pro kartu s testovacími piny) a také možnost rotace čipu. Vyberte odpovídající komponenty, které budou sloužit pro sestavení celého systému. Řízení krokových motorů navrhněte pomocí PC. Celou stanici zkonstruuje a ověřte její funkčnost. Zjištěné informace a dosažené výsledky zpracujte v bakalářské práci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 3.6.2021

Vedoucí práce: Ing. Alexandr Otáhal, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo navrhnuť a vytvoriť poloautomatický polohovací systém pre test polovodičových čipov. V práci je riešený problém s realizáciou konštrukcie pre dosiahnutie čo najväčších presností, pre nakontaktovanie za pomoci karty so sondami. Ďalej sa práca zaoberá zvolením vhodnej riadiacej jednotky pre krokové motory a na záver k vytvoreniu programu pre zaostrenie a vycentrovanie čipu za pomoci obrazu z kamery.

Kľúčové slová

Systém poloautomatického polohovania pre test čipov, krokové motory, TMCM-6110, LabVIEW, karty so sondami

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to design and create a system for a semi-automatic positioning system for the test of semiconductor chips. The work solves the problem with the implementation design to achieve the highest possible accuracy for contacting with the help of a probe card. Furthermore, the work deals with the selection of a suitable control unit for stepper motors and finally to create a program for focusing and centering the chip using the image from the camera.

Keywords

Semi-automatic positioning system for chip test, stepper motors, TMCM-6110, LabVIEW, probe cards

Bibliografická citace

KOTIAN, Tomáš. Návrh poloautomatického polohovacího systému pro měření polovodičových čipů [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-06-01]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134675>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce Alexandr Otáhal.

Prehlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko študenta: *Tomáš Kotian*

VUT ID študenta: *209404*

Typ práce: *Bakalárska práce*

Akademický rok: *2020/21*

Téma záverečnej práce: *Návrh poloautomatického polohovacího systému pro měření polovodičových čipů*

Prehlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracovala samostatne pod vedením vedúceho záverečnej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce. Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušila autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahla nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomá následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Zb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníku č. 40/2009 Zb.

V Brne dňa: 2. 6. 2021

podpis autora

Pod’akovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Alexandr Otáhal, za účinnou metodickú, pedagogickú a odbornou pomoc a ďalšie cenné rady pri zapracovaní mojej bakalárskej práce.

V Brne dňa: 2. 6. 2021

podpis autora

Obsah

ZOZNAM OBRÁZKOV	9
ZOZNAM TABULIEK	11
ÚVOD	12
1 TEST KREMÍKOVEJ DOSKY	13
1.1 MIKROPOSUVY PRE SONDY	13
1.1.1 <i>Pegasus SAM</i>	13
1.1.2 <i>Pvx 500</i>	14
1.2 SONDY PRE MIKROPOSUVY	15
1.3 KARTY SO SONDAMI	15
1.3.1 <i>Epoxidové karty</i>	15
1.3.2 <i>Nízko stratové karty</i>	16
1.3.3 <i>Vysoko napäťové a vysoko prúdové karty</i>	16
1.3.4 <i>Nízko teplotné karty</i>	17
1.3.5 <i>Nízko nákladové karty</i>	17
2 PRÍSTROJE PRE TEST KREMÍKOVÝCH DOSIEK	18
2.1 MPI TS3000	18
2.2 PEGASUS M200FA	19
3 NÁVRH PRÍSTROJA	20
3.1 POŽIADAVKY NA ZMENY V MECHANICKEJ ČASTI KONŠTRUKCIE	20
3.2 NÁVRH OSI X, Y A Z	21
3.3 NÁVRH KONTAKTOVACEJ HLAVY	22
3.4 NÁVRH UPEVNENIA REFERENČNÝCH SPÍNAČOV	22
3.5 VÝSLEDNÝ NAVRHNUTÝ MODEL	23
4 VÝBER LINEÁRNEHO VEDENIA A MOTOROV	24
4.1 PRENOS POHYBU	24
4.1 KROKOVÉ MOTORY	25
4.2 VÝBER A OVERENIE PARAMETROV MOTOROV	26
5 VÝBER RIADIACEJ JEDNOTKY	28
5.1 MIKROKONTROLÉRY	28
5.2 MIKROPOČÍTAČE	28
5.3 BLOKOVÝ DIAGRAM	28
5.4 MODUL TMCM-6110	29
6 VÝBER ZDROJU, KAMERY A MIKROMETRICKÉHO STOLČEKA	30
6.1 ZDROJ	30
6.2 KAMERA	30
6.3 MIKROMETRICKÝ STOLČEK	30
7 POSTUP SKLADANIA	31
7.1 OS Y DOSKA PRE ROTAČNÝ STOLČEK	31

7.2	HLAVNÁ DOSKA A DOSKA S POSUVOM V OSE X A Y	32
7.1	Os Z A ZOSTAVA OSI X A Y	33
7.2	UPEVNENIE KROKOVÝCH MOTOROV	33
7.3	Os Z PRE KONTAKTOVANIE	35
8	ELEKTRONIKA.....	36
8.1	SCHÉMA ZAPOJENIA	36
8.2	OCHRANA KÁBLOV RIADIACEJ DOSKY	37
9	SOFTVÉR.....	38
9.1	LABVIEW™.....	38
9.2	POŽIADAVKY NA VYTVÁRANÝ PROGRAM	38
9.3	IMPLEMENTÁCIA	38
9.3.1	<i>Inicializácia a inicializácia kamery</i>	<i>39</i>
9.3.2	<i>Nastavenie parametrov a hľadanie referenčných spínačov</i>	<i>40</i>
9.3.3	<i>Blok vytvorenia príkazu</i>	<i>41</i>
9.3.4	<i>Periférie užívateľského prostredia</i>	<i>42</i>
9.3.5	<i>Test dokončenia príkazu.....</i>	<i>42</i>
9.3.6	<i>Zvolený príkaz.....</i>	<i>43</i>
9.3.7	<i>Zobrazenie obrazu z kamery</i>	<i>43</i>
9.3.8	<i>Algoritmus hľadania čipu</i>	<i>44</i>
9.1	PREMENNÉ PRE JEDNOTLIVÉ KROKOVÉ MOTORY	45
10	UŽÍVATEĽSKÉ PROSTREDIE	47
10.1	DOPLNKOVÉ FUNKCIE.....	48
11	PRESNOSŤ.....	49
11.1	OPAKOVATEĽNOSŤ	49
11.2	ROVINNOSŤ KONTAKTOVACEJ PLOCHY	50
12	POROVNANIE PARAMETROV.....	51
13	PRAKTICKÝ TEST	53
13.1	KONTAKTOVANIE HRUBOVRSTVÉHO REZISTORU	53
13.2	DETEKCIA ČIPU.....	53
14	ZÁVER.....	55
	LITERATÚRA.....	56
	ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK	59
	ZOZNAM PRÍLOH.....	61

ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1 Pegasus SAM [1]	13
1.2 Pvx 500 [1]	14
1.3 Sondy firmy Wentworth Laboratories [1]	15
1.4 Epoxidová karta [2]	15
1.5 Nízko stratová karta [2]	16
1.6 Karta pre vysoké napätie a vysoké prúdy [2]	16
1.7 Karta pre nízke teploty [2]	17
1.8 Karta pre nízke teploty [2]	17
2.1 MPI TS3000 [3]	18
2.2 PEGASUS M200FA [4]	19
3.1 Pôvodný prístroj k vizuálnej inšpekcii	20
3.2 Pohľad z hora na model	21
3.3 Detail uchytenia karty so sondami	22
3.4 Detail uchytenia referenčného spínaču na vodiacej tyči	22
3.5 Detail uchytenia referenčného spínaču pre kameru	23
3.6 Navrhnutý model prístroja	23
4.1 Rolníčkové a guľičkové vedenie [5]	24
4.2 Trapézová a guľičková skrutka [8]	25
4.3 Pasívny krokový motor [10]	25
4.4 Aktívny krokový motor [10]	25
4.5 Hybridný krokový motor [12]	26
5.1 Blokovaná schéma	28
7.1 Odchýlka kolmosti diery na objímke	32
7.2 Poskladaná os X a Y	32
7.3 Poskladaná os X, Y a Z	33
7.4 Detail uchytenia krokového motoru	34
7.5 Detail uchytenia motoru pre os Z	35
7.6 Kontaktovací hlava	35
8.1 Schéma zapojenia	37
8.2 Kryt riadiacej jednotky ochrana kabeláže	37
9.1 Blokovaná schéma programu	39
9.2 Inicializácia USB portu a kamery	40
9.3 Nastavenie parametrov a hľadanie referenčných spínačov	41
9.4 Vytvorenie príkazu	41
9.5 Periférie užívateľského prostredia	42
9.6 Test dokončenia príkazu	43
9.7 Pohybu motoru pre os Y do pravej strany	43
9.8 Zobrazenie obrazu z kamery	44
9.9 Algoritmus hľadania čipu	44
9.10 Algoritmus detekcie hrany	45
10.1 Užívateľské prostredie	47
10.2 Diagram hľadania referenčného spínaču [30]	48
11.1 Testovanie opakovateľnosti	49
11.2 Graf rovinnosti	50
12.1 Realizovaný prístroj	51
12.2 Signatone CM460-22 [31]	51

13.1 Kontaktovanie hrubovrstvého rezistoru	53
13.2 Detekcia čipu	54

ZOZNAM TABULIEK

1.1 Základné parametre Pegasus SAM [1].....	14
1.2 Základné parametre Pvx 500 [1]	14
2.1 Základné parametre MPI TS3000 [3]	18
2.2 Základné parametre PEGASUS M200FA [4].....	19
6.1 Základné parametre XYR1/M [16]	30
9.1 Nastavené parametre pre jednotlivé osi	46
11.1 Výsledky opakovateľnosti	49
12.1 Parametre realizovaného prístroja a Signatone CM460-22 [31] [16] [29].....	52
12.2 Náklady na realizovaný prístroj	52

ÚVOD

Pri výrobe čipov na kremíkovej doske je neoddeliteľnou súčasťou ich testovanie, ktoré zvyšuje ich spoľahlivosť a vyradenie zmetkou z výroby. Existujú rôzne spôsoby testovania čipov na kremíkovej doske, ako napríklad karty so sondami, alebo sondy s mikroposuvmi. Najviac využívaný spôsob testovania je za pomoci kariet so sondami, kvôli jeho spoľahlivosti a nepotrebnosti dlhého procesu nastavovania kontaktovacích sond. Je dôležité aby navrhovaný systém testovania čipov spĺňal požiadavky súčasnej integrácie. Medzi základné požiadavky patrí, presnosť pohybu sústavy, opakovateľnosť krokov, rýchlosť a spoľahlivosť.

V tejto práci sú v úvode rozobraté možnosti kontaktovania čipov, ktoré ponúkajú poprední výrobcovia a ich technické parametre prístrojov, využívaných k testovaniu. V nasledujúcej časti práce sa analyzuje nedokončený prístroj k vizuálnej inšpekcii, z ktorého budú využité súčiastky k realizácii návrhu. Analýza rieši pôvodne problémy prístroja, ako napríklad nedostatočnú pevnosť, nepresné vystredenie, odpor pri pohybe po lineárnych vedeniach a nevhodne usporiadanie súčiastok pre danú aplikáciu.

Po analýze nasledovalo vytvorenie modelu v programe Autodesk Fusion 360® v ktorom je model doplnený o dva posuvy v ose Z a efektívne usporiadanie súčiastok k maximalizácii pohybu a zachovaniu presnosti. Následne boli v práci teoreticky overené parametre krokových motorov a vybraná vhodná riadiaca jednotka.

Po vybraní vhodných súčiastok nasledovalo ich skladanie. Pri skladaní bol braný veľký dôraz na presné vystredenie a zabezpečenie pohybu bez odporu. K dosiahnutiu týchto požiadaviek sú jednotlivé postupy a spôsoby riešenia problémov popísané v jednotlivých podkapitolách.

Predposlednou časťou práce bolo vytvorenie užívateľského prostredia v programe LabVIEW, ktorý zabezpečuje ovládanie prístroja, zobrazenie obrazu z kamery, automatickú detekciu čipu a ostatné doplnkové funkcie. V tejto časti boli opísané jednotlivé časti kódu s grafickým zobrazením a vysvetlením princípu funkcie jednotlivých blokov.

V poslednej časti sa testovali základné parametre prístroja, ako opakovateľnosť a rovinnosť kontaktovacej plochy s kontaktovacou hlavou. Následne bol prístroj testovaný pri praktickom teste, kontaktovania hrubovrstvého rezistoru a detekcii čipu vyrezaného z kremíkovej dosky. V závere boli zhrnuté základné parametre a vyriešené problémy. Motiváciou k vytvoreniu tohto prístroja bolo jeho široké uplatnenie pri testovaní čipov z kremíkovej dosky, plošných spojov, elektrických obvodov, homogenity hrubej vrstvy, vizuálnej inšpekcie a rôznych iných.

1 TEST KREMÍKOVEJ DOSKY

Test kremíkovej dosky (wafru) spočíva vo vytvorení vodivého spoju medzi vývodovou plôškou čipu a sondou pre test. Z dôvodu širokej škály vyrábaných čipov a počtu ich plôšok ku kontaktovaniu sa pred testovaním plánuje metóda ich testovania. Využívajú sa dve metódy kontaktovania a to, sa za pomoci mikroposuvov (micro positioners), alebo kariet so sondami (probe cards). Mikrometrické posuvy sa využívajú väčšinou pre štvor bodové merania z dôvodu ich veľkosti. Karty so sondami zabezpečujú riešenie, pre čipy s väčším počtom vývodov, ktoré je možné testovať súčasne.

1.1 Mikroposuvy pre sondy

Skladajú sa z ramena a ihličky, ktorá je upevnená na sústave s posuvom v osiach X,Y a Z. Existujú prevedenia automatické, ale i manuálne. Taktiež aj ich konštrukcia sa odvíja od ich zamerania, ktoré môže byť nízko výkonové, vysoko výkonové a vysoko frekvenčné. Ich využite je pri meraniach, kde postačujú menej bodové metódy. Výhodou je univerzálnosť oproti kartám so sondami, možnosť rýchleho docentrovania ihličky ku kontaktovanej plôške. Nevýhodami sú možnosť merania menšieho počtu kontaktov súčasne a dlhšia doba pri počiatočnom zosúladení jednotlivých ihličiek ku plôškam.

1.1.1 Pegasus SAM

Pegasus SAM je motorizovaný automaticky mikroposuv v troch osiach s vysokou presnosťou a opakovateľnosťou krokov vid' obrázku 1.1. Podporujúci meranie vysokých prúdov a napätí. K uchyteniu k hlavnej doske využíva vákuum. Jeho základné parametre sú uvedené v tabuľke 1.1.



Obrázok 1.1 Pegasus SAM [1]

Tabuľka 1.1 Základne parametre Pegasus SAM [1]

	Os		
	X	Y	Z
Pohyb	30 mm	30 mm	30 mm
Rozlíšenie	0,1 μm	0,1 μm	01 μm
Presnosť	$\pm 1 \mu\text{m}$	$\pm 1 \mu\text{m}$	$\pm 1 \mu\text{m}$
Opakovateľnosť	<0,5 μm	<0,5 μm	<0,5 μm
Max. rýchlosť	1 mm/s	1 mm/s	1 mm/s

1.1.2 Pvx 500

Pvx 500 je manuálny mikrometrický posuv v troch osiach pre široké spektrum aplikácií od vysoko výkonových až po meranie malých prúdov vid' obrázok 1.2. Podporuje uchytanie vákuom, ale aj magnetickým poľom. Jeho základne parametre vid' tabuľka 1.2.



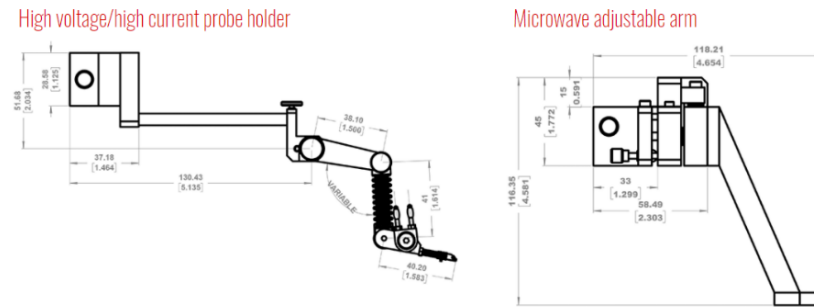
Obrázok 1.2 Pvx 500 [1]

Tabuľka 1.2 Základné parametre Pvx 500 [1]

	Os		
	X	Y	Z
Pohyb	10 mm	10 mm	10 mm
Rozlíšenie	0,7 μm	0,7 μm	0,7 μm

1.2 Sondy pre mikroposuvy

Sondy sa skladajú z ramena, na konci ktorého je ihlička pre kontaktovanie. Tieto časti sa vyberajú podľa druhu aplikácie. Wentworth Laboratories delí svoju ponuku na tri druhy ramien a dva úchyty pre ihličku. Ramená pre všeobecné aplikácie sú, vysoko napäťové, vysoko prúdové a mikrovlnné vid' obrázok 1.3.



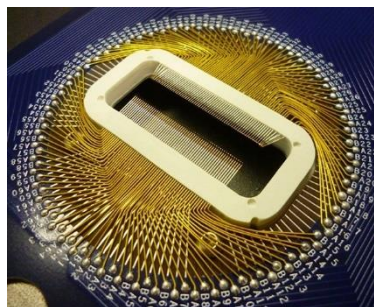
Obrázok 1.3 Sondy firmy Wentworth Laboratories [1]

1.3 Karty so sondami

Vo väčšine prípadov sú vytvorené, ako plošný spoj na ktorý sa pripájajú, alebo iným spôsobom pripoja ihličky, ktoré zabezpečujú vodivé prepojenie s ploškou čipu. Materiály využívané na vodivé cesty sú, hliník, meď a zlato. Na tieto plošné spoje sú kladené vysoké požiadavky, vzhľadom na presnosť, stálosť a veľkú hustotu ihličiek na malej ploche. Rozdeľujú sa do viacerých skupín, ako sú epoxidové, nízko stratové, vysoko napäťové, vysoko prúdové, nízko teplotné a nízko nákladové. Všetky uvedené typy kariet so sondami sa radia medzi Cantilever. [2]

1.3.1 Epoxidové karty

Zabezpečujú veľkú hustotu kontaktných ihličiek, nízku cenu a zodpovedajú požiadavkám pre väčšinu aplikácií. Nevýhodou je ich využitie pre teploty do 100°C. Substrát tvorí väčšinou FR4 s plátovanou meďou, ktorá je chránená vrstvou zlata vid' obrázok 1.4. [2]



Obrázok 1.4 Epoxidová karta [2]

1.3.2 Nízko stratové karty

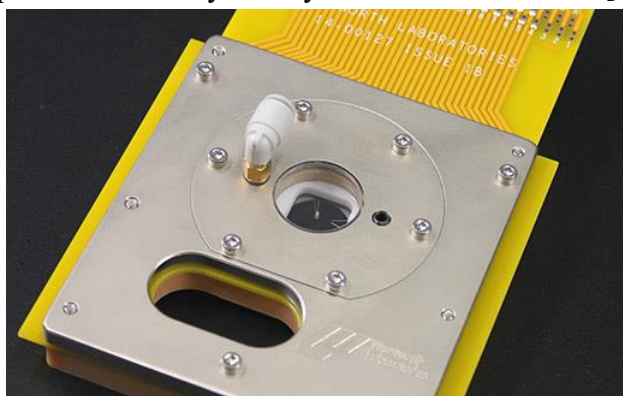
Zaraďujú sa medzi epoxidové, ale sú schopné pracovať v rozsahu fA, pri napätí do 30 V poskytujú meranie s veľmi malými stratami. Jednotlivé rozmery medzi čepeľovými sondami, môžu byť minimálne 50 μm . Ich vynikajúce vlastnosti sa dosahujú vďaka materiálom, z ktorých sú vyrobené ihličky, ako napríklad volfrám, volfrám rénium a berýlium meď vid' obrázok 1.5. [2]



Obrázok 1.5 Nízko stratová karta [2]

1.3.3 Vysoko napät'ové a vysoko prúdové karty

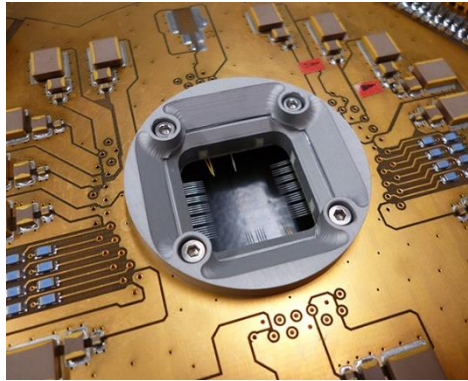
Špeciálna konštrukcia vid' obrázok 1.6, ktorá zabezpečuje aktívne chladenie môže dosahovať teplôt do 250 °C. Karty určené pre vysoké napätie a prúdy sú schopné pracovať s napätím do 10 KV a s prúdmi v impulzoch do 200 A. Využívané sú v aplikáciách pre testovanie výkonových IGBT a MOSFET. [2]



Obrázok 1.6 Karta pre vysoké napätie a vysoké prúdy [2]

1.3.4 Nízko teplotné karty

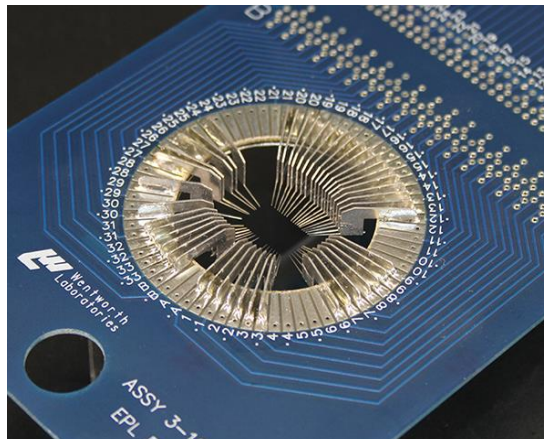
Pre experimentálne účely a súčiastky určené do extrémnych podmienok sú vyrábané karty vid' obrázok 1.7, ktoré sú schopné spoľahlivo pracovať pri teplotách $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ako substrát sa využíva špeciálny cryogeny epoxid, ktorý zabezpečuje, aby substrát neskrehol. Tieto karty sa uplatňujú hlavne pre testovanie čipov pre rakety a satelity. [2]



Obrázok 1.7 Karta pre nízke teploty [2]

1.3.5 Nízko nákladové karty

Sú určené pre jednoduchšie čipy s čepľovými sondami vzdialenými minimálne $100\text{ }\mu\text{m}$ od seba. Vyrábajú sa pre 46 a 70 pinové verzie. Ich hlavnou výhodou je to, že presnosťou sa približujú k epoxidovým, ale majú oveľa menšiu cenu. Ich hlavné využitie je väčšinou pre čipy využívané v spotrebnej elektronike vid' obrázok 1.8. [2]



Obrázok 1.8 Karta pre nízke teploty [2]

2 PRÍSTROJE PRE TEST KREMÍKOVÝCH DOSIEK

Pre testovanie sa využívajú troj osové sústavy s rotáciou podložky, na ktorej je umiestnená kremíková doska. Rozdeľujú sa na automatické, semiautomatické a manuálne. Konštrukcia pozostáva z hlavnej podložky, na ktorej je posuv v dvoch osiach X a Y. Tieto dve osi slúžia k zarovnaniu čipu so sondami. Os Z sprostredkuje prepojenie sond na kontakty čipu. Súčasťou je aj mikroskop pre spracovanie obrazu a inšpekciu možných nedostatkov pri kontaktovaní. Výrobcovia týchto zariadení sú napríklad Wentworth Laboratories, MICRONICS a MPI.

2.1 MPI TS3000

V podstate konštrukcia je zložená z troch osí s lineárnymi vedeniami, ku ktorým sú pripojené motory vid' obrázok 2.1. Tieto zabezpečujú automatický posuv podľa príkazov počítaču. Celý proces je do značnej miery automatizovaný. Obraz z mikroskopu sa spracováva v počítači a počiatočne zarovnanie s prvým čipom sa vykonáva automaticky s prípadnou vizuálnou kontrolou operátora. Následne stroj prechádza do automatického módu, kde sám podľa definovaných vzdialeností mení pozíciu sond k jednotlivým čipom.



Obrázok 2.1 MPI TS3000 [3]

MPI TS3000 je navrhnutý k vytváraniu ampérvoltových charakteristík, pulzných charakteristík, testovaniu RF čipov, validácii nízko výkonových čipov a teplotným testom od -60 °C do 300 °C. Základné parametre pohybu v jednotlivých osiach vid' tabuľke 2.1.

Tabuľka 2.1 Základné parametre MPI TS3000 [3]

	Os		
	X	Y	Z
Pohyb	310 mm	310 mm	30 mm
Rozlíšenie	0,5 μm	0,5 μm	0,2 μm
Presnosť	$\pm 2 \mu\text{m}$	$\pm 2 \mu\text{m}$	$\pm 2 \mu\text{m}$

Opakovateľnosť	$\pm 1 \mu\text{m}$	$\pm 1 \mu\text{m}$	$\pm 1 \mu\text{m}$
Max. rýchlosť	50 $\mu\text{m/s}$	50 $\mu\text{m/s}$	50 $\mu\text{m/s}$

2.2 PEGASUS M200FA

Konštrukcia sa taktiež skladá z posuvov v troch osiach s lineárnymi vedeniami vid' obrázok 2.2. Jediný rozdiel je, že pohyb vykonáva operátor. Operátor vizuálne cez mikroskop sleduje čip a využíva k vycentrovaniu mikrometrické posuvy. Táto metóda je oveľa viac časovo náročná a nie je vhodná k testovaniu veľkého množstva čipov. Hlavnou výhodou je oveľa menšia obstarávacía cena.



Obrázok 2.2 PEGASUS M200FA [4]

PEGASUS M200FA je manuálny prístroj pre testovanie kremíkových dosiek do priemeru 200mm. Zabezpečuje možnosť vykonávať vysoko výkonové ampérvoltové charakteristiky, teplotné testy od $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ a verifikáciu dizajnu. DC analýza do 500 V. Vysoko výkonové analýzy sú obmedzené do 3 KV a 200 A v pulze. Základné parametre vid' tabuľke 2.2. [4]

Tabuľka 2.2 Základné parametre PEGASUS M200FA [4]

	Os		
	X	Y	Z
Pohyb	210 mm	310 mm	10 mm
Rozlíšenie	7 μm	7 μm	7 μm
Max. rýchlosť	100 mm/s	100 mm/s	100 mm/s

3 NÁVRH PRÍSTROJA

Návrh zostavy sa opiera o pôvodné súčiastky z nefunkčného prístroja k vizuálnej inšpekcii vid' obrázok 3.1. Tento prístroj pozostával z dvoch osí pre pohyb v osiach X,Y a posuvu pre mikroskop v osi X. Z dôvodu využitia pôvodných súčiastok, bolo možné realizovať len malé zmeny oproti pôvodnej konštrukcii pre osi X a Y. Tretia os Z, pre posuvu mikroskopu bola navrhnutá z komponentov, ktoré boli použité na pôvodnej osi X, kde bol umiestnený mikroskop. Súčiastky využité z pôvodného prístroja: 4 vodiace tyče o dĺžke 250 mm a priemere 12 mm so ôsmimi guľčikovými posuvmi SMA12, 2 krokové motory SX17-0905, 2 pružné spojky, 2 guľčikové skrutky o priemere 16 mm a dĺžke 320 mm s dvomi guľčikovými maticami, 2 vodiace tyče o dĺžke 380 mm a priemere 16 mm.



Obrázok 3.1 Pôvodný prístroj k vizuálnej inšpekcii

3.1 Požiadavky na zmeny v mechanickej časti konštrukcie

Nedostatky pôvodnej konštrukcie boli spísané do bodov, ako problémy, ktoré je potrebné vyriešiť .

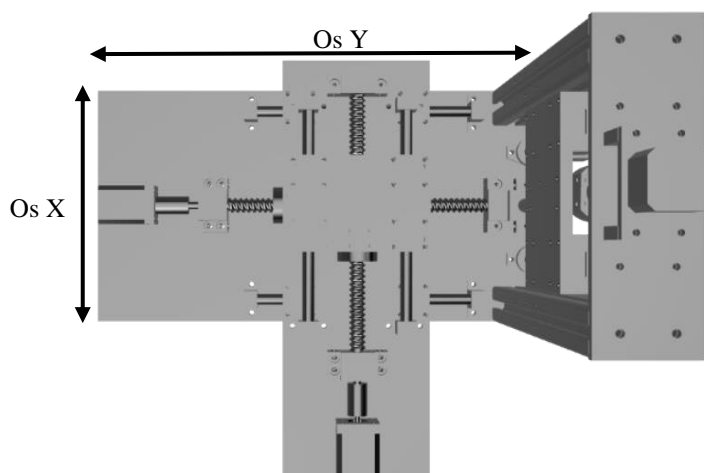
- Zväčšenie pevnosti konštrukcie.
- Upraviť centrovanie motoru s guľčikovou skrutkou.
- Vytvorenie osi Z pre posuv mikroskopu.
- Navrhnutie posuvu pre kontaktovanie dosky so sondami s čipom.
- Implementácia rotačného stolčeka pre čip.
- Návrh a implementácia poloautomatického centrovania čipov.

Hlavným problémom pôvodnej konštrukcie bola pevnosť v ohybe jednotlivých konštrukčných dosiek. Tento problém bol vyriešený ich nahradením za hlinkové dosky

s hrúbkou 10 mm, ktoré zabezpečia dostatočnú pevnosť. Rozmery dosiek a umiestnenie súčiastok pre osi X a Y boli mierne upravené k efektívnejšiemu rozmiestneniu. Týmito úpravami bol dosiahnutý 100 mm posuvu v osiach X a Y. Na uchytenie krokových motorov pre dané osi budú využité pôvodné úchyty, ktoré boli vyrobené z hliníku, aby spĺňali požiadavku pevnosti. Na os Z sú kladené vysoké požiadavky na pevnosť a jej uchytenie z dôvodu, že je neustále zaťažovaná váhou mikroskopu a sústavou k posuvu pre karty so sondami. Ako podperne profily boli zvolené, dva hliníkové profily o rozmeroch 40x80x380 mm s dvoma závitmi pre skrutky M12. Pôvodné vodiace tyče budú pripevnené za pomoci SF objímok z dôvodu možnosti dostavenia. Posuv pre mikroskop je zabezpečený štyrmi guľčkovými posuvmi SMA16 a guľčkovou vodiacou tyčou s krokovým motorom. Pre posuv dosky so sondami bol zvolený lineárny modul od firmy FUYU s pohybom 100 mm s kombináciou vodiacej tyče o priemere 12 mm. Posledný krok návrhu bola implementácia rotačného stolčeku s mikrometrickými posuvmi od firmy Thorlabs, označením XYR1/M pre manuálnu korekciu čipu s kartou so sondami. V prílohe Zoznam položiek k nákupu je uvedený zoznam súčiastok k nákupu.

3.2 Návrh osi X, Y a Z

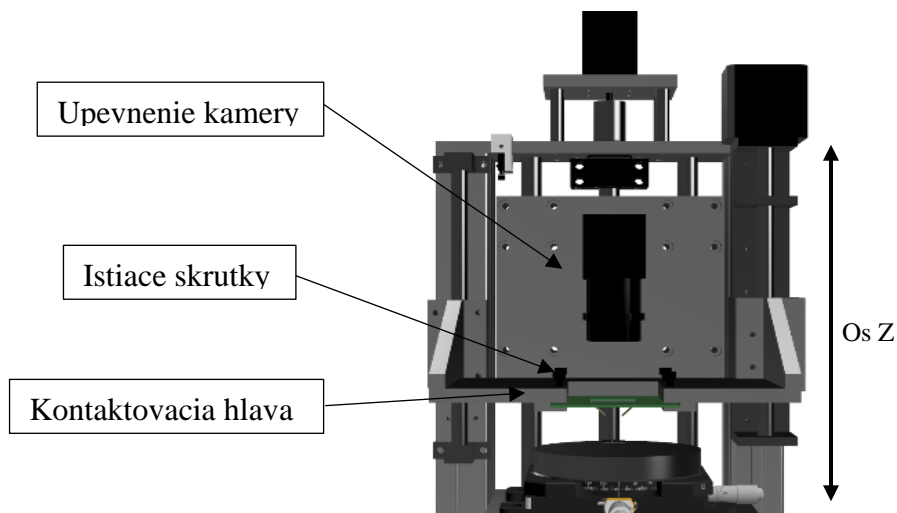
Na obrázku 3.2 je zobrazený pohľad z hornej strany na model, kde možno vidieť osi X a Y, v strede svojich posuvov. Návrh bol prispôbený k dosiahnutiu maximálneho možného pohybu v daných osiach s použitím pôvodných súčiastok. Obe osi X a Y majú maximálnu možnosť pohybu od svojho stredu 50 mm na každú stranu. Z toho vyplýva, že výsledná pracovná plocha je $10\,000\text{ mm}^2$. Doska v ose Z zabezpečuje pohyb v rozmedzí 70 mm do oboch strán od stredovej pozície. Doska je navrhnutá, aby na ňu bolo možné pripevniť nielen mikroskop, ale aj kameru s objektívom.



Obrázok 3.2 Pohľad z hora na model

3.3 Návrh kontaktovacej hlavy

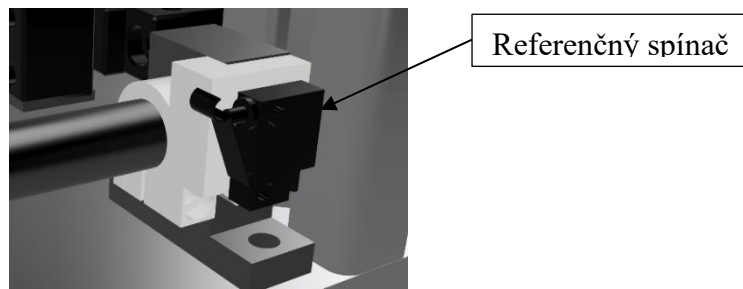
Na obrázku 3.3 je zobrazený detail uchytenia karty so sondami, na dosku kontaktovania, za pomoci dvoch istiacich skrutiek. Tento spôsob bol navrhnutý, ako najjednoduchšie riešenie ktoré zabezpečí dostatočnú silu uchytenia a nevyžaduje špeciálny tvar karty so sondami. Doska kontaktovania je pripevnená na dvoch lineárnych posuvoch s pohybom 100 mm. Tento posuv bude zabezpečovať automatické kontaktovanie. Upevnenie kamery bolo navrhnuté, ako dočasné za pomoci ramena so skrutkou na konci vytlačeného na 3D tlačiarňi.



Obrázok 3.3 Detail uchytenia karty so sondami

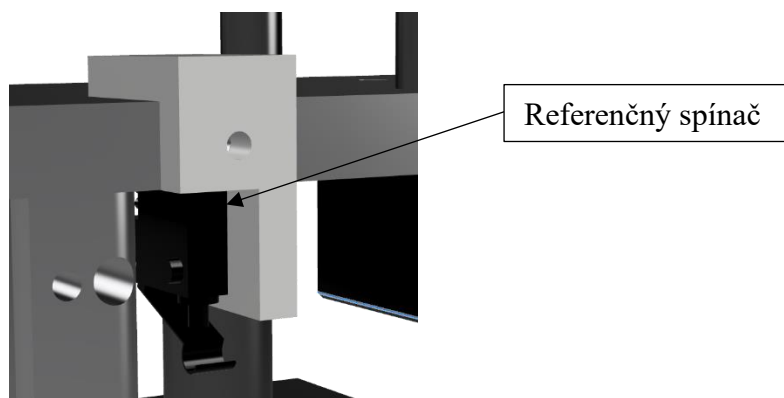
3.4 Návrh upevnenia referenčných spínačov

Všetky osi majú svoj vlastný referenčný spínač, ktorý bude predstavovať ich referenčný bod, od ktorého je počítaná vzdialenosť. Upevnenie spínaču k osi X a Y je realizované za pomoci objímky vytlačenej na 3D tlačiarňi. Tato objímka má dieru s veľkosťou osi a skrutku na jej dotiahnutie. Na bočnej strane má dieru pre kolík vypínaču a dieru pre skrutku na upevnenie spínaču. Uchytenie objímky s spínačom je zobrazené na obrázku 3.4.



Obrázok 3.4 Detail uchytenia referenčného spínaču na vodiacej tyči

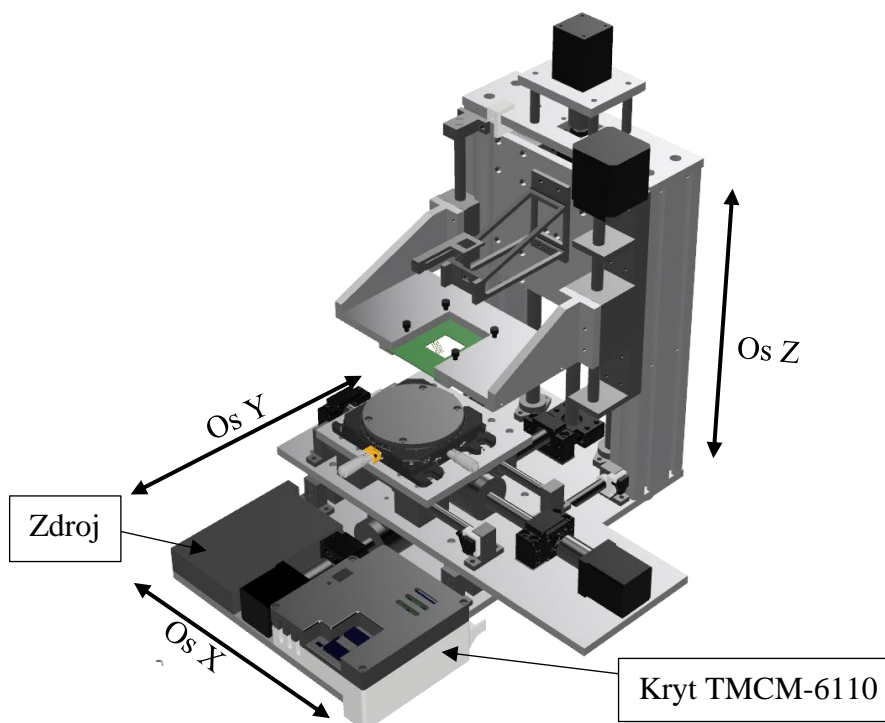
Pre os Z bola navrhnutá rovnaká objímka s rozdielom v upevni na dosku a fixáciou so skrutkou vid na obrázku 3.5.



Obrázok 3.5 Detail uchytenia referenčného spínaču pre kameru

3.5 Výsledný navrhnutý model

Na obrázku 3.6 je zobrazený navrhnutý model umožňujúci pohyb v troch osiach a rotáciu okolo osi Z. Na modeli je realizované aj uloženie pre riadiacu jednotku TMC-6110 do krytu vytlačeného na 3D tlačiarňi. Zdroj je umastený tak aby bol využitý prázdny priestor.



Obrázok 3.6 Navrhnutý model prístroja

4 VÝBER LINEÁRNEHO VEDENIA A MOTOROV

Lineárne vedenia slúžia, ako vodiaci prvok v danej osi pohybu. Na trhu je viacero typov pre rôzne aplikácie podľa požadovanej hmotnosti, rovinnosti povrchu, rýchlosti pohybu, životnosti a okolia v ktorom sú prevádzkované. Základné rozdelenie je na rolníckové vedenia a vedenia s obehovými guľčkami. Rolníckové vedenia sa skladajú z vozíku na ktorom vo väčšine prípadov sú 4 kolieska s drážkou pre profil, po ktorom sa pohybujú vid' obrázku 4.1 na ľavej strane. Oproti vedeniam s obehovými guľčkami sú lacnejšie, majú menšiu životnosť a väčší súčiniteľ trecieho odporu. Vedenia s obehovými guľčkami sa skladajú z vodiaceho profilu, vozíku v ktorom sú guľčky, ktoré svojim obehom zabezpečujú pohyb. Jeho prednosti sú, nízky koeficient valivého odporu a vysoká dynamická únosnosť vid' 4.1 na pravej strane.



Obrázok 4.1 Rolníckové a guľčkové vedenie [5]

Pôvodné vodiace tyče s priemerom 12 mm a dĺžkou 250 mm a vozíkmi s obehovými guľčkami spĺňajú požiadavky k dosiahnutiu požadovanej rovinnosti pri pohybe. Táto konfigurácia vedenia bola navrhnutá na osi X a Y. Pre os Z boli využité, taktiež dve pôvodné vodiace tyče o priemere 16 mm a dĺžke 380 mm a vozíkmi s obehovými guľčkami. Väčší priemer tyče predchádza ohybu, pod pôsobením váhy mikroskopu, na väčšej dĺžke tyče .

4.1 Prenos pohybu

Pozostáva v transformácii rotačného pohybu na pohyb v posuvný. Je ho možné realizovať dvoma spôsobmi a to za pomoci ozubenej remenice a ozubeného kolieska, alebo závitovou skrutkou a maticou. Remenice sa používajú pre komplikované tvary, ako sú robotické ramena a pre veľké vzdialenosti. Účinnosť ozubených remeníc je 96%. Závitová skrutka s maticou sa vyrába v dvoch prevedeniach a to, ako trapézová, ktorá je lacnejšia a menej presná, ako guľčková ktorá, je presnejšia vid' obrázok 4.2. Trapézové skrutky majú presnosť 200 μ m / 300 mm a účinnosť okolo 48%. Guľčkové skrutky dosahujú minimálnu presnosť 50 μ m /300 mm a účinnosť až 90%. V tomto návrhu sú využité guľčkové skrutky so stúpaním 5 mm, pre zabezpečenie čo najväčšej nožnej presnosti pohybu, ktorá je pri kontaktovaní plôšok čipov veľmi dôležitá. [6] [7]

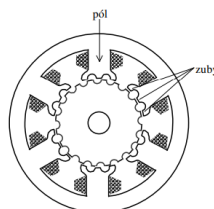


Obrázok 4.2 Trapézová a guľiková skrutka [8]

4.1 Krokové motory

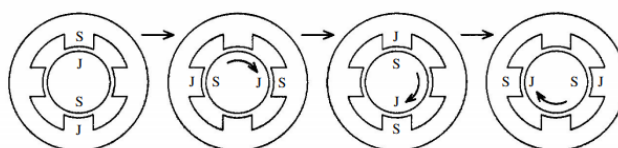
Krokové motory sú synchronné motory, ovládané pulzmi, ktoré vytvárajú magnetické pole na jednotlivých cievkach statora. Toto pole pôsobí na rotor, môže ho posunúť o takzvaný krok alebo fixovať na danom mieste. Rozdeľujú sa podľa druhu rotora, na pasívne, aktívne a hybridné.

Pasívne, alebo tiež reluktančné vid' obrázok 4.3 majú rotor s magneticky mäkkého materiálu, na ktorom sú drážky. Medzi jednotlivými drážkami je rozdiel permeability k cievke, spôsobený väčšou alebo menšou medzerou vzduchu. Magnetické pole cievky pritiahne drážky s menšou medzerou, lebo na ňu pôsobí väčšie magnetické pole. Jeho výhodami sú nízka cena a malý moment zotrvačnosti. [10]



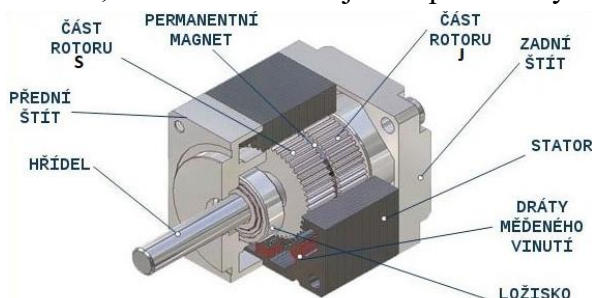
Obrázok 4.3 Pasívny krokový motor [10]

Aktívne krokové motory vid' obrázok 4.4 ktorých rotor pozostáva z permanentného magnetu, natáčajúceho sa k cievkam, ktoré oproti sebe vytvárajú severný a južný pól. Vynútia cievok sú realizované ako biflárne, to znamená, že dve prekrývajúce sa vinutia sú navinuté na póloch statora oproti sebe, avšak elektricky sú navzájom od seba oddelené. Týmto spôsobom sú schopné póly statora vytvárať južný a severný pól oproti sebe. [10]



Obrázok 4.4 Aktívny krokový motor [10]

Hybridné krokové motory vid' obrázok 4.5 sú spojením princípu aktívnych a pasívnych krokových motorov. Stator sa skladá väčšinou z ôsmich pólových nadstavcov s drážkami na ich koncoch. Rotor je rozdelený na dve časti a to, permanentný magnet s drážkami severného pólu a druhá časť s drážkami južného pólu ktorá, je posunutá tak , aby bola medzi drážkami severného pólu. Týmto usporiadaním vzniká možnosť oveľa väčšieho počtu krokov a väčšieho statického momentu. Taktiež podľa spôsobu ovládania sme schopný zvýšiť počet krokov za pomoci mikrokrokovania. Tieto motory sú najviac využívané pre CNC, 3D tlačiarne a ostatné aplikácie, kde je potrebné dosahovať veľkej presnosti. Ich cena je oveľa vyššia ako pri ostatných motoroch, z dôvodu zložitejšieho procesu výroby. [10] [11]



Obrázok 4.5 Hybridný krokový motor [12]

4.2 Výber a overenie parametrov motorov

Pre pohyb v osi X a osi Y bolo potrebné overiť, či pôvodné motory SX17 – 0905 splňujú požiadavky. A pre os Z vybrať vhodný motor k nákupu. Z dôvodu toho, že toto zariadenie má zabezpečovať len pohyb bez prekonávania žiadnej ďalšej sily, bolo možné zjednodušiť výpočet potrebného krútiaceho momentu. Keďže náplňou tejto práce nie je komplexný návrh pohonu, výpočet bol inšpirovaný prácou Bc. Mateja Zemčika [13] a zjednodušený pre výpočet k danej aplikácii. Pôvodný výpočet pozostával zo statického momentu motoru, kinetického a dynamického hľadiska. Faktory kinetického a dynamického hľadiska je možné zanedbať a počítať len potrebný statický moment pre motor z dôvodu, že od prístroja nie je vyžadované, aby mal vysokú rýchlosť pohybu a veľké zrýchlenie. Vypočítaný statický moment sa pohybuje v okolí 50% výsledného momentu motoru. Tento fakt bol zohľadnený a riešený predimenzovaním motorov.

Výpočet potrebného statického momentu pre os X je

$$M_{statx} = \frac{F_{max} \cdot P_h}{2 \cdot \pi \cdot \eta_c} = \frac{65 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,9} = 0,057 Nm, \quad (4.1)$$

kde F_{max} je sila pôsobiaca na os, P_h je stúpanie guľôčkovej skrutky a η_c je účinnosť prenosu pohybu.

Výpočet potrebného statického momentu pre os Y je

$$M_{staty} = \frac{F_{max} \cdot P_h}{2 \cdot \pi \cdot \eta_c} = \frac{20 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,9} = 0,018 Nm. \quad (4.2)$$

Výpočet potrebného statického momentu pre os Z kamery je

$$M_{statz} = \frac{F_{max} \cdot P_h}{2 \cdot \pi \cdot \eta_c} = \frac{50 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,9} = 0,044 Nm. \quad (4.3)$$

Výpočet potrebného statického momentu pre os Z kontaktovacej hlavy je

$$M_{statz} = \frac{F_{max} \cdot P_h}{2 \cdot \pi \cdot \eta_c} = \frac{50 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,9} = 0,044 Nm. \quad (4.4)$$

Motor SX17 – 0905 ma krútiaci moment pri 300 RPM 0,4 Nm, čo je niekoľko násobne predimenzované k predpokladanému potrebnému krútiacemu momentu. Z výsledku potrebného statického momentu pre os Z bol zvolený krokový motor 42CM08, ktorý má uhol kroku 1,8° krútiaci moment 0,8 Nm. Týmto predimenzovaním bol cieľ zaistiť to že, aj pri zmene mikroskopu, alebo využitia ťažšej kamery bude zabezpečený presný posuv v osi Z.

5 VÝBER RIADIACEJ JEDNOTKY

Riadiaca jednotka spracováva inštrukcie podľa ktorých rozdeľuje príkazy pre jednotlivé drivery, ktoré následne zabezpečujú pohyb. Jadrom celej jednotky je buď mikrokontrolér, alebo mikropočítač.

5.1 Mikrokontroléry

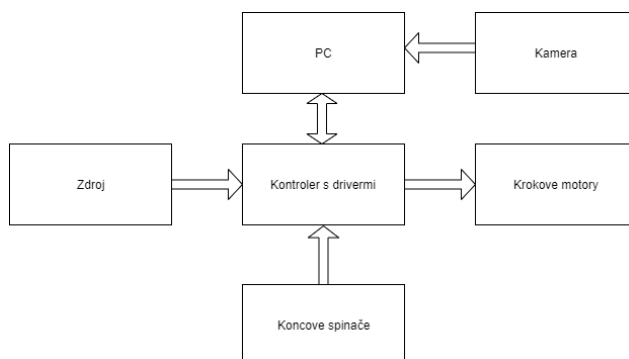
Mikrokontroléry sú využívané pre menej náročné aplikácie, majú menšiu výpočtovú rýchlosť, ale ich výhodou je nižšia cena. Väčšinou cez zbernice, ako sú USB, UART, RS-485 spracúvajú príkazy, alebo z pamäťovej karty získavajú súradnice pre pohyb jednotlivých motorov. Taktiež môžu zabezpečovať základné informácie na displejoch, alebo iných výstupných perifériách.

5.2 Mikropočítače

Mikropočítače sú využívané pre prístroje, pri ktorých sa predpokladá ich samostatnosť. Rýchlejšia výpočtová jednotka zabezpečuje základné možnosti, ako pri mikrokontroléroch, ale pridáva možnosť plniť aj náročnejšie úlohy, ako spracovanie obrazu z kamery, možnosť prepracovanejšieho užívateľského prostredia, ktoré v reálnom čase zobrazuje dôležité informácie.

5.3 Blokový diagram

Blokový diagram zostavy pre ovládanie vid' obrázok 5.1 sa skladá zo šiestich základných častí. Ovládanie je sprostredkované cez počítač, ktorý dáva príkazy mikrokontroléru cez zbernicu USB. Modul na ktorom je mikrokontrolér obsahuje, drivery pre motory a vstupy pre koncové spínače jednotlivých osí. Počítač taktiež spracováva obraz z kamery cez zbernicu USB, ktorý je zobrazovaný na displeji počítaču.



Obrázok 5.1 Bloková schéma

5.4 Modul TMCM-6110

K spracovávaníu ovládacích inštrukcii bol zvolený modul od firmy TRINAMIC pre ovládanie krokových motorov v šiestich osiach, z ktorých sú využité 4. Modul sa skladá s ARM mikrokontroléru STRM32, s dvoma ovládačmi TMC429. Ku každému z nich sú pripojené 3 drivery TMC262, ktoré sú schopné dodávať prúd 1,6 A pre každý výstup motora. Výhodou tohto modulu je to, že obsahuje funkcie StallGuard™, CoolStep™ a SpreadCycle™. Komunikácia s modulom je zabezpečená tiež viacerými zbernicami ako sú, USB, CAN a RS485. Napájanie je možné realizovať od 9 V do 28 V.

StallGuard sprostredkuje meranie uhlového zaťaženia motora. Bezsenzorová detekcia zaťaženia implementovaná v štandardnom ovládači krokového motora eliminuje potrebu referenčných, alebo koncových spínačov . Taktiež zabraňuje strate krokov, ktorá vzniká pri nadmernom zaťažení motora. Spätná väzba o úrovni zaťaženia je detekovaná na 1024 úrovniach, z ktorých je možné nastaviť hodnotu zaťaženia, kedy má motor zastaviť a zabrániť strate kroku.

CoolStep je funkcia dynamického riadenia prúdu na základe informácii z StallGuard. Podľa záťaže motora je dodávaný aj prúd čo znižuje spotrebu o 90% a tvorbu tepla, čo umožňuje využitie menších motorov.

SpreadCycle zabezpečuje histereziu, ktorá automaticky použije vhodný vzťah medzi vzostupnou a zostupnou hranou, aby vytvorila optimálne rýchly cyklus. [14] [15]

6 VÝBER ZDROJU, KAMERY A MIKROMETRICKÉHO STOLČEKA

Zdroj napájania musí zvládať zabezpečovať vhodnú a stabilnú hodnotu napätia, dostatočný prúd pre 4 motory pohybujúce sa v tom istom momente, riadiacu jednotku TMCM-6110 a osvetlenie.

6.1 Zdroj

Pre výpočet maximálneho prúdu ktorý je od zdroja vyžadovaný sa rovná

$$I_{max} = 4 \cdot I_{motor} + I_{TMC} + I_{svetlo} = 4 \cdot 1,26 + 0,15 + 0,2 = 5,39A. \quad (6.1)$$

Vypočítaný prúd je stanovený pre najväčšie možné zaťaženie, ktorému by prístroj mohol byť vystavený. Keďže motory prekonávajú minimálnu záťaž tak aj reálny prúd je menší ako vypočítaný. Zvolený zdroj je LRS-150-24 s výstupným napätím 24 V maximálnym výstupným prúdom 6,5 A. Obsahuje základne druhy ochrany pre nárast napätia, proti prehriatiu, proti preťaženiu a proti skratu. [20]

6.2 Kamera

Zvolena kamera ELP ma rozlíšenie 1920x1080 pixelov, 2,8-12 mm vari fokálny objektív a komunikáciu cez USB. Objektív zabezpečuje priblíženie pre menšie čipy bez nutnosti využitia mikroskopu.

6.3 Mikrometrický stolček

Pre manuálnu manipuláciu bol zvolený mikrometrický stolček od firmy Thorlabs s označením XYR1/M. Stolček okrem presného posuv v dvoch osiach X a Y slúži aj k rotácii okolo osi Z. Základne parametre mikrometrického stolčku sú uvedené v tabuľke 6.1.

Tabuľka 6.1 Základné parametre XYR1/M [16]

Priemer plochy	106 mm
Rozsah pohybu	13 mm
Vzdialenosť za otočku	0,5 mm
Rozlíšenie	1 μm

7 POSTUP SKLADANIA

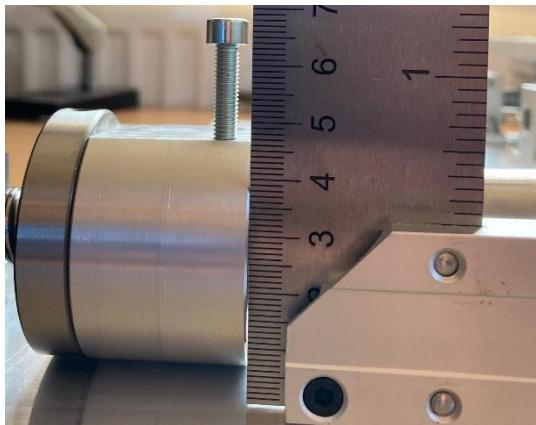
Pri skladaní jednotlivých častí bolo potrebné dbať na správnu postupnosť krokov a centrovanie súčiastok. Celú konštrukciu môžeme rozdeliť do 3 osí ku ktorým patria jednotlivé súčiastky. Ako prvé bolo treba začať so skladaním časti ku ktorej bol následne znemožnený prístup po pridaní ostatných častí.

7.1 Os Y doska pre rotačný stolček

Prvým krokom bolo pripevnenie vodiacich tyčí na dosku na ktorej je realizovaný posuv v osi Y. Veľmi dôležitým aspektom bolo zabezpečenie vzájomnej rovnobežnosti oboch vodiacich tyčí. Úchyty pre vodiace tyče majú 2 diery o priemere 5,5 mm, rovnaké diery sú navŕtané aj v doske. Tým pádom keď je použitá skrutka o priemere 5 mm vzniká možnosť pohybu o 0,25 mm na každú stranu. Keďže vŕtanie bolo realizované ručne za pomoci stolovej vŕtačky predpokladala sa určitá odchylka. Na začiatku bola zmeraná maximálna a minimálna vzdialenosť medzi vodiacimi tyčami upevnenými s vôľou k doske.

Následujúcim krokom bolo poskladanie dosky rotačného stolčeka s podložkami a vodiacimi vozíkmi. Tato metóda bola využitá aj pre ostatné vodiace tyče pre zistenie maximálnej a minimálnej vzdialenosti od seba. Problém bol v tom, že niektoré vozíky mali voči iným odchylky. To v praxi znamenalo, že vozíky na jednej vodiacej tyči nemali ich okraje zarovno. Tento problém bol riešený tak, že sa zvolil referenčný vozík s ktorým boli porovnané ostatné a zaznamenané ich rozdiely. Medzi max. a min. vzdialenosťami vodiacich tyčí a vodiacich vozíkov boli určené stredné hodnoty podľa ktorých sa nastavili vzdialenosti a zložili sa dokopy.

Ako posledný krok bol pripevnenie guľčikovėj skrutky s jej uloženiami. Diery v uloženiach a v doske boli priemeru 6,6 mm a použité skrutky priemeru 6 mm čo teoreticky vytváralo možnosť dostavenia o 0,3 mm do všetkých strán. Bez dotiahnutia skrutiek sa poskladala guľčiková skrutka s uloženiami na dosku. Následne bola zmeraná vzdialenosť oproti vodiacim tyčiam a guľčikovėj skrutky k vodiacej tyči. Následne bola zvolená stredná hodnota a skrutky boli dotiahnuté na pevno. Pri pripevnení guľčikovėj matice k doske pre rotačný stolček a jeho následnom testovaní pohybu v celom rozsahu vznikol nadmerný odpor. Pôvod tohto odporu pri pohybe bol v tom, že závit na objímke guľčikovėj skrutky neboli navŕtané kolmo k osi pohybu viď obrázok 7.1.

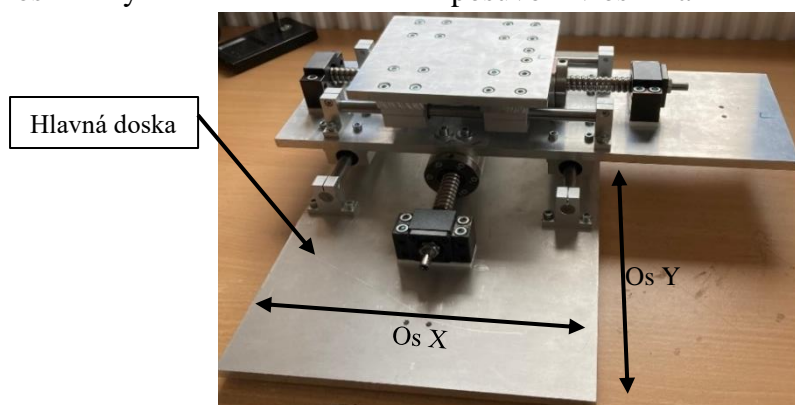


Obrázok 7.1 Odchýlka kolmosti diery na objímke

Guličková matica slúži k prenosu pohybu v jednej osi a pri danej aplikácii nebudú vznikať žiadne iné sily. Ako riešenie bolo zvolené vloženie vymedzovacej podložky medzi guľčkovú maticu a dosku pre rotačný stolček. Vymedzovacia podložka je schopná vyrovnať povrch a fixuje obe časti proti nechcenému posuvu.

7.2 Hlavná doska a doska s posuvom v ose X a Y

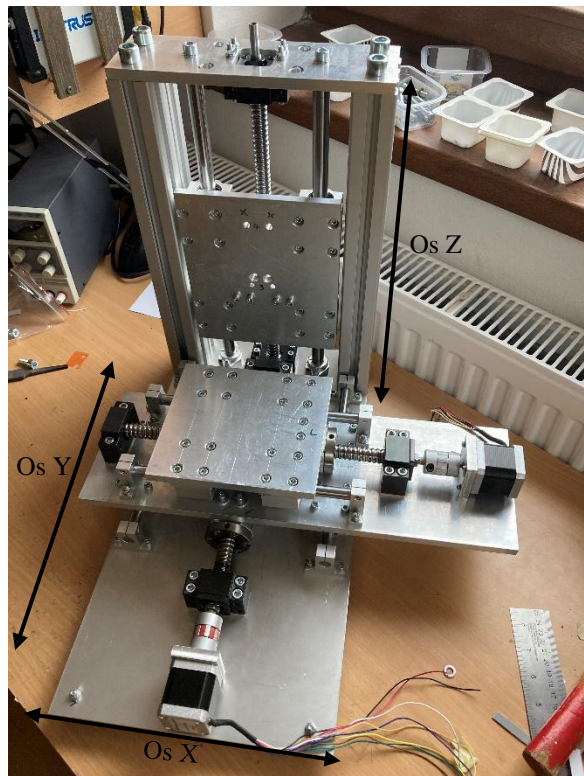
Na hlavnej doske je realizovaný posuv v ose X to znamená, že sa tiež skladá z dvoch vodiacich tyčí. Ich upevnenie ku doske je rovnaké, ako pri doske posuvu v ose Y. Pre nájdenie vhodnej rozteče medzi vodiacimi tyčami a vodiacimi vozíkmi bola zvolená rovnaká metóda, ako pri skladaní osi Y. Nastavenie vodiacich vozíkov bolo jednoduchšie pretože všetky vozíky boli rovnakej veľkosti bez žiadnych odchýliek. Pri upevňovaní matice vznikol rovnaký problém, ako pri skladaní osi X z dôvodu, že diery neboli navŕtané kolmo k osi pohybu. Tento problém bol riešený rovnako, ako pri osi X. Výsledkom bola zostava s posuvom v osi X a Y vid' obrázku 7.2.



Obrázok 7.2 Poskladaná os X a Y

7.1 Os Z a zostava osi X a Y

K hlavnej doske boli pripevnené za pomoci skrutiek dva nosné profily s vodiacimi tyčami, na ktoré boli nasunuté vozíky s vopred pripevnenou doskou pre mikroskop. Všetky spoje boli dotiahnuté minimálne, aby bolo možné nájsť maximálne a minimálne vzdialenosti, ako pri osiach X a Y. Po vypočítaní vhodnej rozteče pre vodiace tyče boli dotiahnuté na pevno na oboch koncoch. Ďalej sa pokračovalo s dotiahnutím vodiacich vozíkov k doske. Po dotiahnutí však takmer vôbec nebolo možné pohnúť s doskou. Dôvodom tohto problému bolo prehnutie dosky z výroby vid' obrázok 7.3. Toto prehnutie po dotiahnutí vozíkov v nich vytváralo tlak na vodiace tyče a tým zabráňovalo v pohybe. Problém bol vyriešený vypodložením jednotlivých miest, aby osi vozíkov boli v jednej rovine.



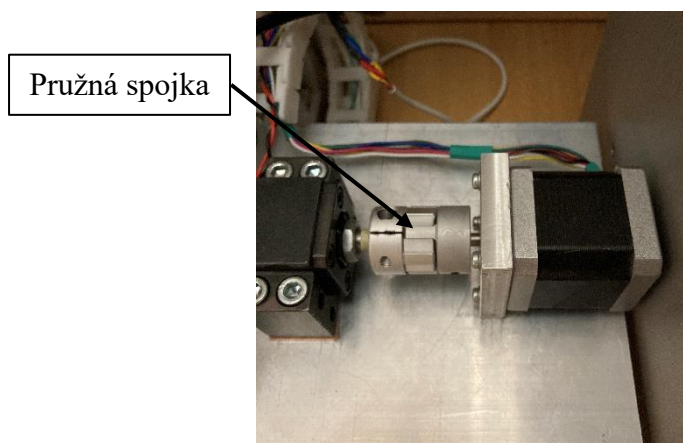
Obrázok 7.3 Poskladaná os X, Y a Z

Vyriešením daných problémov a správnym vycentrovaním sa predišlo opotrebovaniu jednotlivých častí, pretože by vznikalo zvýšené trenie. Znížilo sa namáhanie motorov, ktoré by inak museli prekonávať väčší odpor a celkovo sa zvýšila spoľahlivosť a životnosť zostavy.

7.2 Upevnenie krokových motorov

Pri upevnení krokových motorov bolo dôležité dbať na správne vycentrovanie so spájanou osou. Pri nevhodnom spojení vzniká odpor, a to vedie k zvýšenému zaťaženiu motorčekov a opotrebeniu ložiskových uložení. Danú nesúosovosť

kompenzujú pružné spojky a taktiež obmedzujú rezonanciu a tlmia vibrácie. Pri skladaní sa začalo s upevnením pružnej spojky, na os guľčikovėj skrutky, ku ktorej bola i dotiahnutá, vid' obrázok 7.4. Následne sa k nej pripevnila oska krokového motoru, ktorý bol k hlavnej doske pripevnený na voľno. Pri krútení s osou, bolo možné sledovať, kde sa motor pri pohybe guľčikovėj skrutky posúva. Pri osiach X a Y boli určené odchylky nesúosovosti a motor bol uchytený na miesto, ktoré predstavovalo stred medzi odchylkami. Taktiež na osku bola nalepená páska ktorá zlepšuje pevnosť upevnenia pružnej spojky k osi a nesúosovosť.



Obrázok 7.4 Detail uchytenia krokového motoru

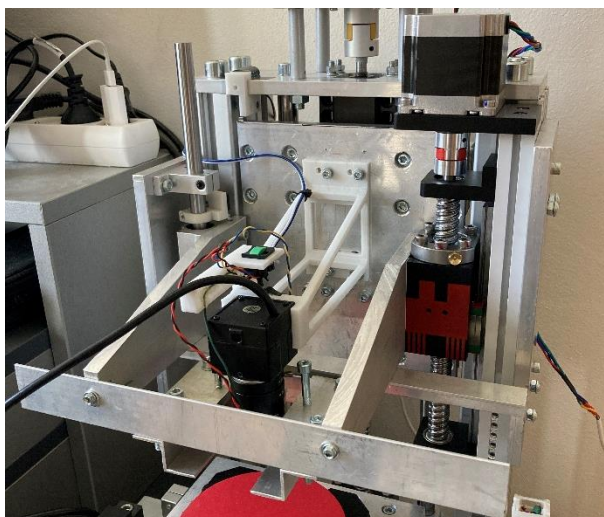
Pri centrování osi Z bol zvolený rovnaký postup, s rozdielom potreby dostavenia viacerých častí. Prvým krokom, bolo taktiež pevné spojenie osi guľčikovėj skrutky s pružnou spojkou a s osou motoru, na ktorom bola upevnená podložka s distančnými stĺpikmi, vid' obrázok 7.5. Avšak, pri postupe bolo zistené, že pri prevrtaní pružnej spojky na stolovej vŕtačke, má vyvŕtaná diera veľkú odchylku od osi. Tento problém bol vyriešený oblepením osi guľčikovėj skrutky páskou, pre kompenzáciu nepresne vyvŕtanej diery. Páska taktiež zabezpečuje prenášanie pohybu, aj bez dotiahnutia pružnej spojky, čo sa využilo pri následnom dostavovaní. Ďalej sa pokračovalo niekoľko krát za sebou s otáčaním osi a postupným doťahovaním distančných stĺpikov k podložke, pre dosiahnutie čo najväčšej súosovosti. Ako posledná bola dotiahnutá pružná spojka.



Obrázok 7.5 Detail uchytenia motoru pre os Z

7.3 Os Z pre kontaktovanie

Os Z pre kontaktovanie, ktorú môžeme vidieť na obrázku 7.6, bola skladaná od bočných dosiek ku ktorým je pripevnená vodiaca tyč s lineárnym posuvom a krokovým motorom. K tejto časti bola pripevnená kontaktovacia hlava, do ktorej sa upevňuje karta so sondami a bola dostavená tak, aby bola čo najviac rovnobežná s mikrometrickým stolčekom. Dotáhovanie skrutiek sa vykonávalo v dvoch krokoch. Prvým krokom bolo, slabé dotiahnutie v najnižšej polohe. Druhým, následné dotiahnutie skrutiek v najvyššej polohe od mikrometrického stolčku.



Obrázok 7.6 Kontaktovacia hlava

8 ELEKTRONIKA

Elektronická časť sa skladá z troch základných častí. Zo zdroja, riadiacej dosky a osvetlenia. Pri návrhu zapojenia obvodu bol braný ohľad na prierez káblov, podľa prúdu, ktorý cez ne bude tiecť. Kabeláž je taktiež navrhnutá tak, aby bola prehľadná a modifikovateľná, pre ďalšie úpravy, alebo opravy prístroja. K zapnutiu prístroja slúži prepínač s polohami, zapnutý/vypnutý a indikáciou napätia LED diódou na riadiacej doske. K ovládaniu svetla pre kameru slúži prepínač umiestnený na držiaku kamery.

8.1 Schéma zapojenia

Na obrázku 8.1 je zobrazená schéma zapojenia. K zdroju je pripojený kábel, určený pre sústavu TN-S, s napätím 230V, ktorého ochranný vodič je pripojený ku kostre prístroja. Výstup zo zdroja pokračuje do hlavného prepínača, ktorý slúži k odpojeniu, alebo pripojeniu riadiacej dosky a napájaniu osvetlenia kontaktovacej plochy. Za hlavným vypínačom je LED1, ktorá indikuje napätie na riadiacej jednotke. K LED1 je predradený rezistor R1, ktorý definuje prúd pre LED1.

Obvod osvetlenia je napájaný lineárnym regulátorom napätia LM7805, ktorý vstupné napätie obmedzuje na hodnotu 5V, na jeho výstupe. Pred aj za regulátorom sú kondenzátory C1 a C2 k vyhladeniu šumu. Prepínač svetla ovláda zapnutie a vypnutie diód LED2 a LED3. Týmto sú predradené rezistory R2 a R3, ktoré definujú ich prúdy. Hodnoty pre výpočty sú získané z jednotlivých dokumentácií súčiastok. [17][18][19]

Výpočet odporu pre rezistoru R1

$$R_1 = \frac{U_{in} - U_{fD1}}{I_{D1}} = \frac{24 - 2,2}{20 \cdot 10^{-3}} = 1090 \Omega, \quad (8.1)$$

kde U_{in} je vstupné napätie, U_{fD1} napätie LED diody a I_{D1} prúd pretekajúci LED diódou.

Výpočet zvrátového výkonu na rezistore R1

$$P_{R1} = R_1 \cdot I_{D1}^2 = 1090 \cdot 20 \cdot 10^{-3}^2 = 0,436 W. \quad (8.2)$$

Výpočet odporu pre rezistor R3

$$R_3 = R_2 = \frac{U_{in} - U_{fD2}}{I_{D2}} = \frac{5 - 3,3}{20 \cdot 10^{-3}} = 85 \Omega. \quad (8.3)$$

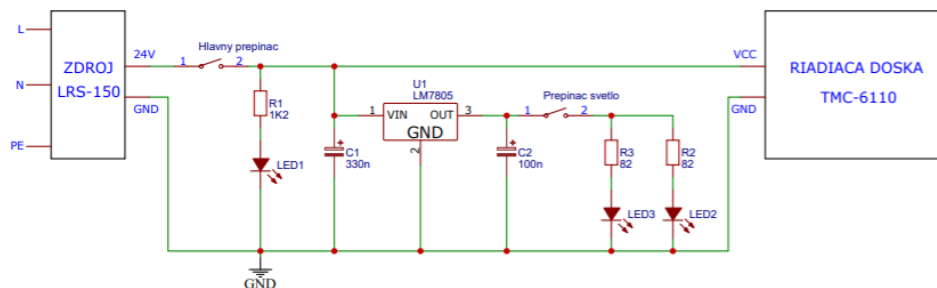
Výpočet stratového výkonu na rezistore R2

$$P_{R2} = P_{R3} = R_2 \cdot I_{D2}^2 = 85 \cdot 20 \cdot 10^{-3}^2 = 0,034 W. \quad (8.4)$$

Výpočet stratového výkonu na regulátora napätia U1

$$P_{U1} = (U_{in} - U_{out}) \cdot (I_{D2} + I_{D3}) = (24 - 5) \cdot (20 \cdot 10^{-3} + 20 \cdot 10^{-3})^2 = 0,76W. \quad (8.5)$$

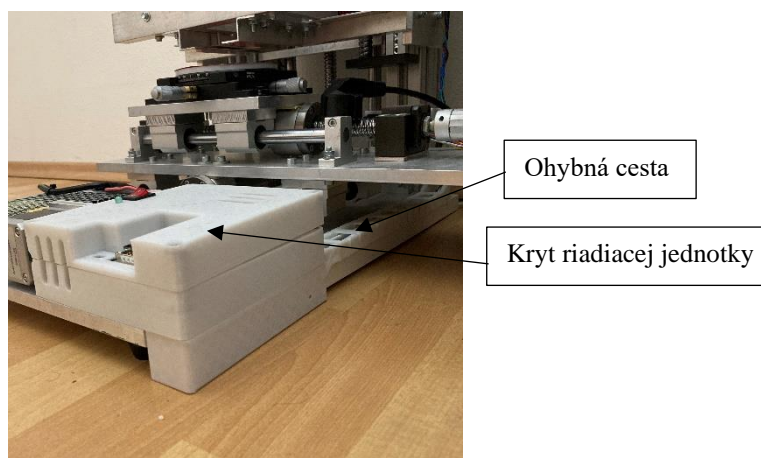
Podľa vypočítaných hodnôt odporov a stratových výkonov boli zvolené vhodné súčiastky, aby nedošlo k prehriatiu a možnému poškodeniu súčiastky. Hodnoty súčiastok sú zobrazené na obrázku 8.1.



Obrázok 8.1 Schéma zapojenia

8.2 Ochrana káblov riadiacej dosky

Ochrana káblov a riadiacej dosky je zobrazená na obrázku 8.2. Pre os Y je kabeláž vedená za pomoci ohybnéj cesty, ktorá bola vytlačená na 3D tlačiarňi. Táto ohybná cesta zabezpečuje ochranu pred poškodením vodičov a povoľuje ohyb káblu maximálne do 35° na 4 cm. Pre ochranu riadiacej dosky bol vytlačený kryt na 3D tlačiarňi, ktorý slúži ku základnej ochrane pred dotykom, alebo poškodením. Kryt bol realizovaný tak, aby bolo možné pripojenie pre všetky porty, ktoré riadiaca doska poskytuje. Dve mriežky slúžia k pasívnemu chladeniu, ale kryt je navrhnutý tak aby bolo možné chladiť aj ventilátorom.



Obrázok 8.2 Kryt riadiacej jednotky ochrana kabeláže

9 SOFTVÉR

K ovládaniu prístroja a spracovaniu obrazu z kamery je využitý program vytvorený v programovacom jazyku LabVIEW™. Tento programovací jazyk bol zvolený pre jeho jednoduchosť a rýchlu implementáciu.

9.1 LabVIEW™

LabVIEW™ je grafický programovací jazyk vytvorený spoločnosťou National Instrument. Jeho hlavným cieľom je poskytnúť jednoduchší a intuitívnejší prístup k ovládaniu, komunikácii a spracovaniu dát z prístrojov. Toto je zabezpečované jeho grafickým znázornením kódu podobnému vývojovému diagramu procesu, ktorý uľahčuje prácu a rýchlosť pri vytváraní aplikácii. V prostredí sú implementované bežné komunikačné protokoly, ako napríklad RS232 a USB. Ďalšou jeho výhodou je veľká sada obsahujúca algoritmy pre spracovanie a úpravu dát. Taktiež sa v nej nachádzajú základné užívateľské periférie k vytvoreniu užívateľského prostredia, čo uľahčuje, zrýchľuje a znižuje riziko chyby pri vytváraní programu. [21] [22]

9.2 Požiadavky na vytváraný program

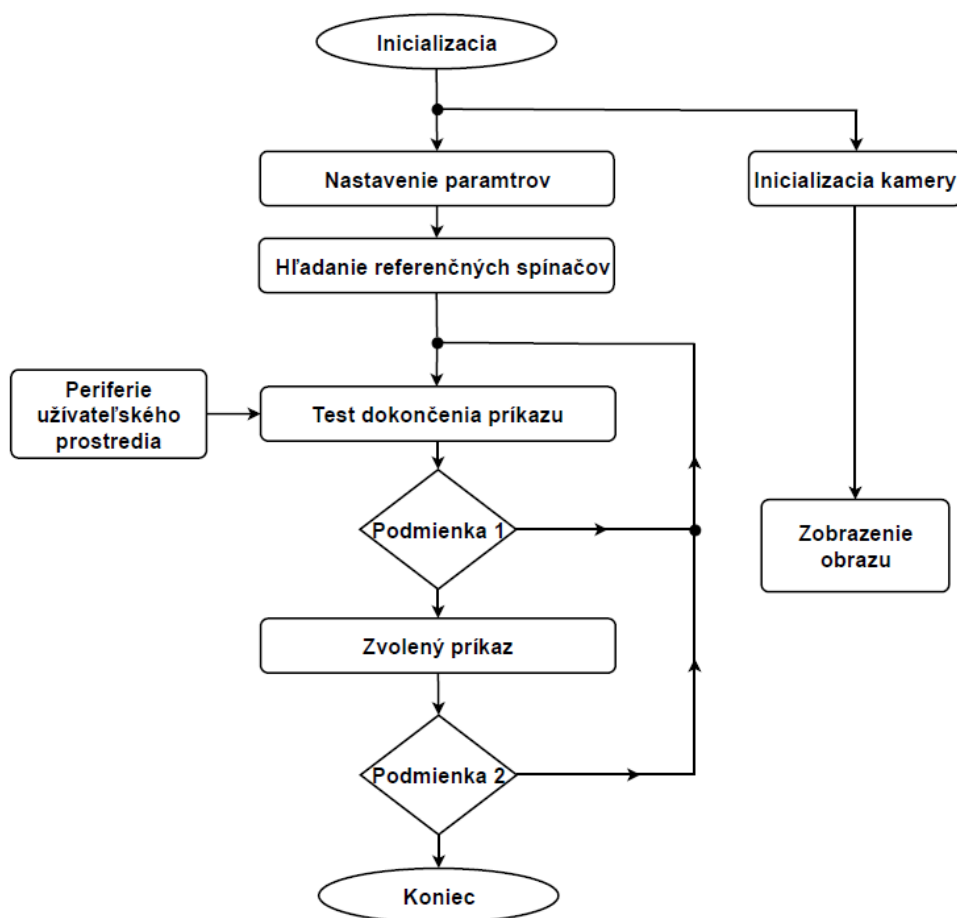
Základné požiadavky na funkcie programu, ktorý obsahuje jednoduché užívateľské prostredie so zobrazením obrazu z kamery a možnosťou ovládania prístroja.

- Nastavenia veľkosti kroku.
- Ochrana pred posuvom nad maximálnu vzdialenosť.
- Manuálne ovládanie všetkých 3 osí.
- Nájdenie referenčného bodu.
- Posuv do stredu.
- Zastavenie vykonávaného pohybu.
- Zobrazenie aktuálnej pozície v jednotlivých osiach od referenčného bodu.
- Automatická detekcia objektu a vystredenie so stredom kontaktovacej hlavy.
- Komunikácia cez USB.

9.3 Implementácia

Na obrázku 9.1 je zobrazený zjednodušený vývojový diagram aplikácie pre ovládanie prístroja. Program vždy začína od inicializácie. Následne sa rozvetvuje na nastavenie parametrov pre jednotlivé osi, inicializáciu kamery a zobrazenie obrazu. Zobrazovanie obrazu je nezávislé a vykonáva sa vo vlastnej slučke. Po nastavení parametrov sa pošle príkaz na hľadanie referenčných spínačov, pre všetky osi. Následne sa v bloku (test dokončenia príkazu) pýtame či všetky referenčné spínače boli nájdené. Podmienka

1, vyhodnocuje výsledok z bloku (test dokončenia príkazu). Ak je výsledok nepravdivý program sa vráti na začiatok bloku (test dokončenia príkazu). Ak je výsledok pravdivý pokračuje ďalej na blok (zvolený príkaz). Pokiaľ nie sú nájdené všetky referenčné spínače je možné zadať len príkaz a to zastavenie pohybu všetkých osí. Po dokončení hľadania referenčných spínačov slučka cyklí, od bloku (test dokončenia príkazu), po podmienku 2. Po zadaní príkazu z periférie užívateľského prostredia, sa najskôr otestuje, či sa nevykonáva príkaz na hľadanie referencie, alebo posuv do stredu. Ak nie tak sa zadaný príkaz vykoná. Podmienka 2, slúži k ukončeniu celého programu a je prepojená s tlačítkom (Disconnect).



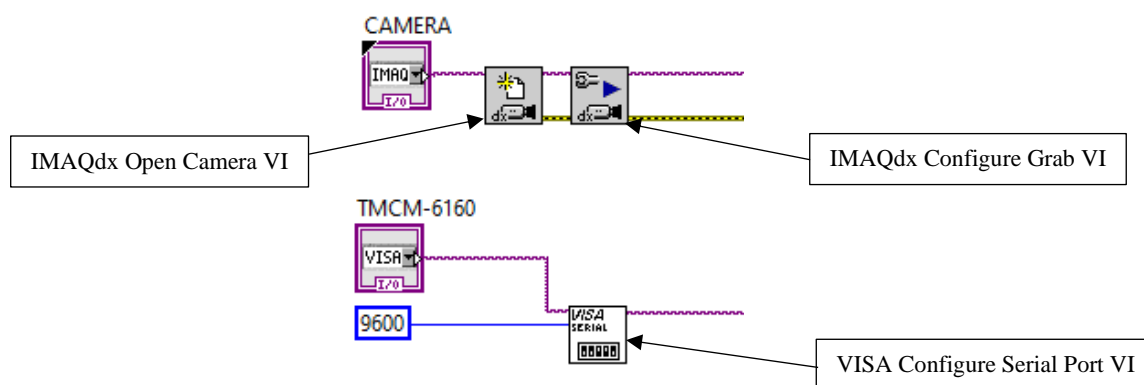
Obrázok 9.1 Bloková schéma programu

9.3.1 Inicializácia a inicializácia kamery

Na obrázku 9.2 sú zobrazené bloky, zabezpečujúce inicializáciu komunikácie cez USB, pre kameru a riadiaci modul TMCM-6160. Blok (CAMERA) je vstup pre definovanie portu, na ktorý je pripojená kamera. Blok (IMAQdx Open Camera VI) [23], požiada kameru o jej informácie, načíta konfiguračný súbor kamery a vytvorí jedinečný odkaz

na kameru. Blok (IMAQdx Configure Grab VI) [24] neustále spracováva obrázky z kamery, ktoré následne pokračujú do medzipamäte programu.

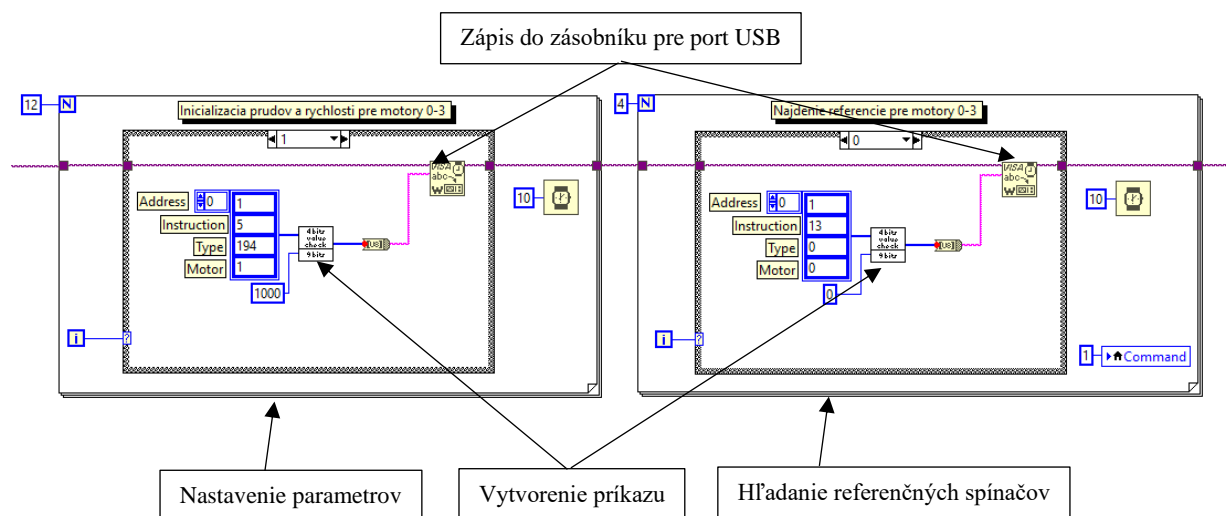
Blok (TMCM-6160) je vstup pre definovanie portu, ktorý je pripojený na riadiacu dosku. Blok (VISA Configure Serial Port VI) [25] inicializuje sériový port so zadaným názvom z bloku (TMCM-6160) a rýchlosťou prenosu 9600 bitov za sekundu. Ostatné nastavenia sú nastavené, ako predvolená 8 bitová komunikácia bez parity.



Obrázok 9.2 Inicializácia USB portu a kamery

9.3.2 Nastavenie parametrov a hľadanie referenčných spínačov

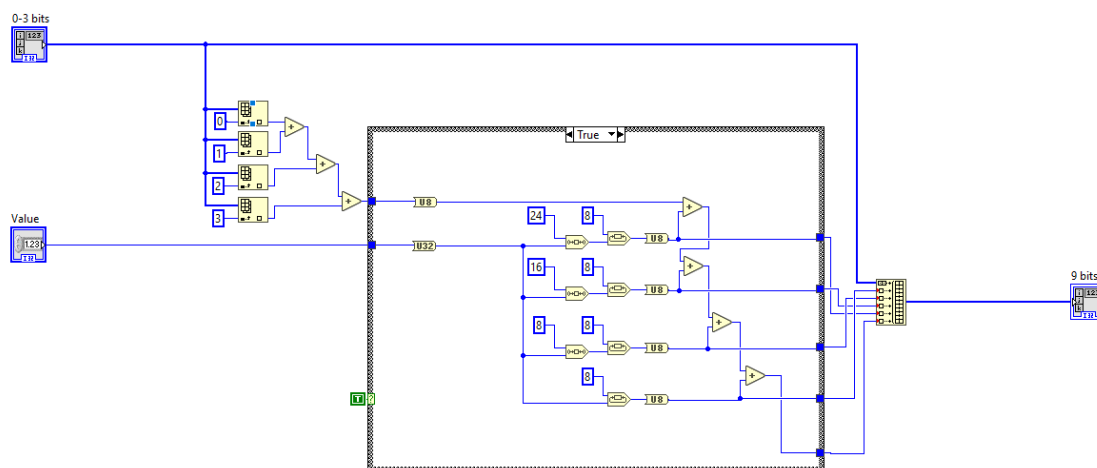
Na obrázku 9.3 je zobrazený kód, pre nastavenie parametrov a hľadanie referenčných spínačov. Nastavenie parametrov osí je realizované, ako iteračný cyklus (for loop), ktorý sa opakuje 12 krát. V jeho vnútri sa podľa počítadla určí blok (case), ktorý vytvorí príkaz na nastavenie parametra a za pomoci bloku (vytvorenie príkazu) sa následne prevedie do reťazca. Tento reťazec sa zapíše do zásobníku pre port USB (VISA Write Function) [26] a následne sa zapíše do prístroja pripojeného na daný port. Hľadanie referenčných spínačov je rovnaká funkcia, ako nastavenie parametrov, s rozdielom, že iteračný cyklus (for loop) sa opakuje len 4 krát.



Obrázok 9.3 Nastavenie parametrov a hľadanie referenčných spínačov

9.3.3 Blok vytvorenia príkazu

Príkaz sa skladá z 9 bajtov. V poradí adresa, inštrukcia, typ, motor, hodnota a overovací súčet. Všetky obsahujú jeden bajt, okrem hodnoty, ktorá má 4 bajty. Na obrázku 9.4 je kód pre vytváranie príkazu. Ako vstupná hodnota je pole so 4 bunkami pre adresu, inštrukciu, typ a motor. Ďalšia vstupná veličina je hodnota (Value), ktorá je definovaná dátovým typom, znamienkové 32 bitové číslo. Tieto veličiny vstupujú do podmienky, ktorá vykonáva funkciu rozdelenie 32 bitového čísla, na 4 bajty ku ktorým sa doplní ich súčet ako deviaty bajt do výstupného poľa.

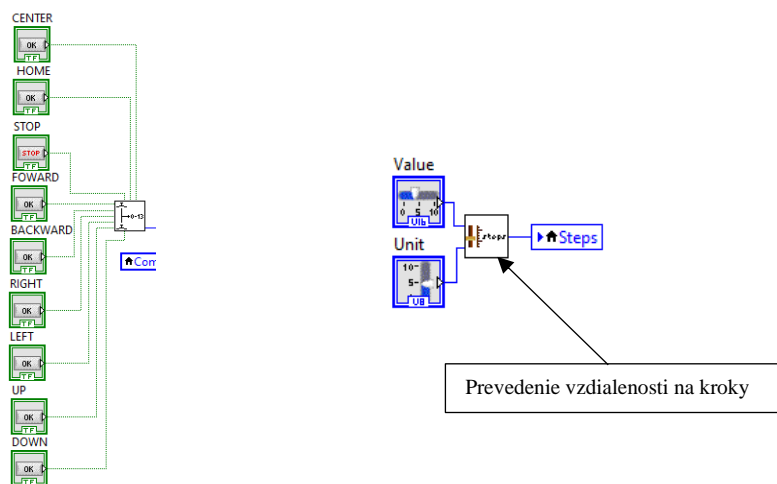


Obrázok 9.4 Vytvorenie príkazu

9.3.4 Periférie užívateľského prostredia

Na obrázku 9.5 je časť kódu, ktorá predstavuje užívateľské periférie k ovládaniu prístroja. Každé tlačidlo v užívateľskom prostredí je prevedené na číslo, podľa ktorého je definovaný príkaz. Užívateľské prostredie taktiež obsahuje aj dva jazdce, ktorými sa nastavuje hodnota (Value) a jednotky (Unit). Tieto bloky spracováva blok (prevedenie vzdialenosti na kroky).

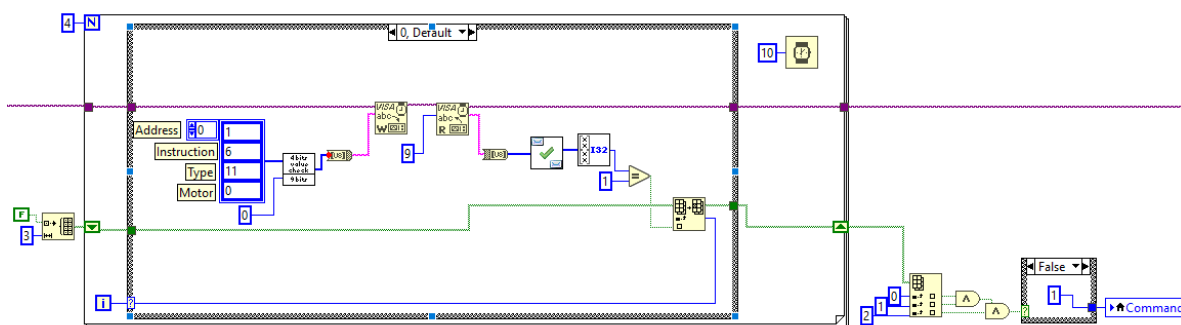
Blok (prevedenie vzdialenosti na kroky) je ovládaný hodnotou z jednotiek, podľa ktorej sa vzdialenosť delí hodnotou konštanty. Konštanta je definovaná, ako podiel stúpania guľčikovvej skrutky k počtu krokov. Hodnota je ďalej zaokrúhľená na jednotky a interpretovaná, ako znamienkové 32 bitové číslo.



Obrázok 9.5 Periférie užívateľského prostredia

9.3.5 Test dokončenia príkazu

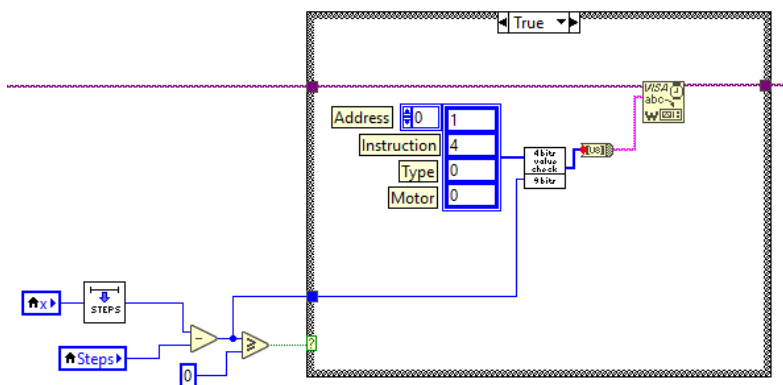
Na obrázku 9.6 je príklad kódu, ktorý overuje či bol dokončený príkaz. Takéto funkcie sú aj pre overenie ostatných príkazov. Daný kód je určený, pre príkaz hľadania referenčných spínačov. Ako prvé sa pošle príkaz, na ktorý riadiaca doska odpovedá, či pre danú os je spínač zopnutý, alebo rozopnutý. Odpoveď je v podobe 9 bajtov, ktoré predstavujú: adresa, modul, status, príkaz, hodnota a overovací súčet. Tento reťazec je prevedený na pole a následne sa testuje v bloku, či bola správa správne prijatá a nie je posunutá. Ak nastalo posunutie bajtov, je pole rotované, až dokým správa nie je v správnom formáte. Ďalšia funkcia zo 4 bajtov, ktoré predstavujú spolu hodnotu, vytvorí znamienkové 32 bitové číslo. Otestuje sa podmienka a zapíše sa hodnota do poľa. Tento cyklus sa zopakuje 4 krát. Ako posledný krok je overenie podmienky, či sú všetky spínače zopnuté. Ak je podmienka splnená, tak sa v lokálnej premennej (Commands) povolí prístup k ostatným príkazom pre ovládaciú dosku.



Obrázok 9.6 Test dokončenia príkazu

9.3.6 Zvolený príkaz

Príklad kódu zobrazený na obrázku 9.7, opisuje princíp posielania príkazu do riadiacej jednotky. Daný kód reprezentuje príkaz pohybu motoru pre os Y, o počet krokov dopredu, z premennej (Steps). Podmienka vykonania príkazu je riešená tým, že sa počet krokov odpočíta od aktuálnej pozície a skontroluje sa či pri zadanej vzdialenosti by nedošlo k prekročeniu maximálnej vzdialenosti. Ak je podmienka splnená, tak sa vypočítaná hodnota rozdielu aktuálnej polohy a zadanej hodnoty, pošle v príkaze ako absolútna hodnota, o koľko krokov sa má motor pootočiť.

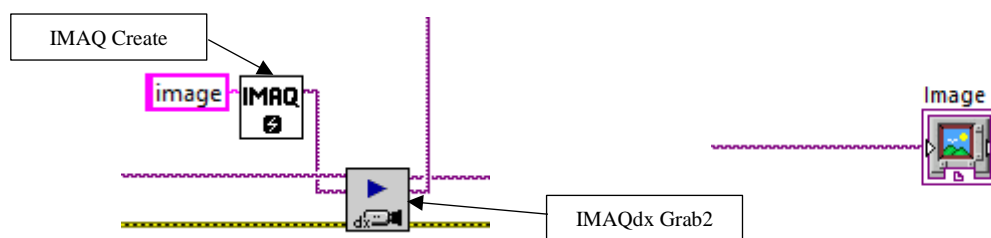


Obrázok 9.7 Pohybu motoru pre os Y do pravej strany

9.3.7 Zobrazenie obrazu z kamery

Príklad kódu spracovania obrazu na obrázku 9.8, sa skladá z funkcie (IMAQdx Grab2) [27], ktorá spracováva aktuálne snímky z kamery a upravuje ich do vhodného formátu

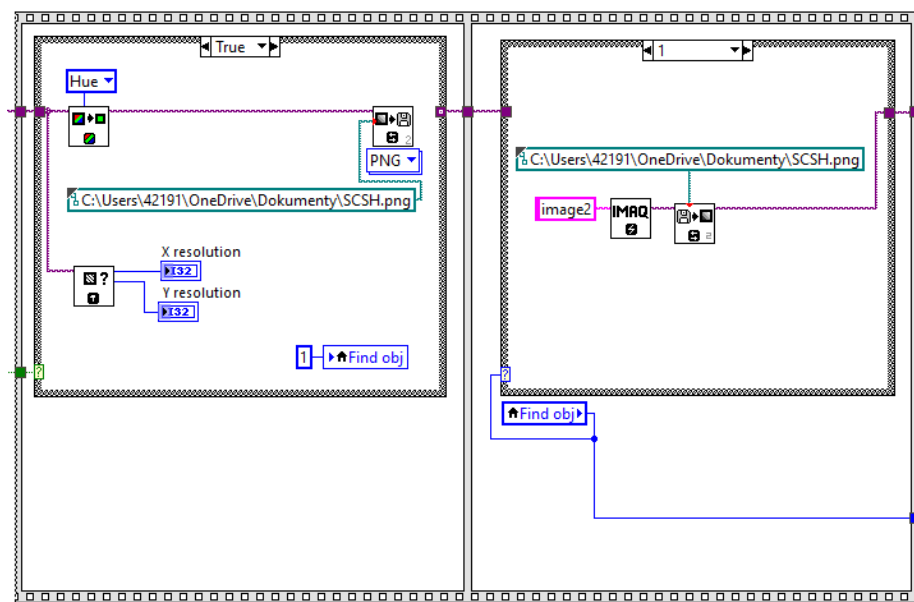
pre zobrazenie na displeji (Image). K dočasnému uloženiu obrázku do premennej, slúži funkcia (IMAQ Create) [28].



Obrázok 9.8 Zobrazenie obrazu z kamery

9.3.8 Algoritmus hľadania čipu

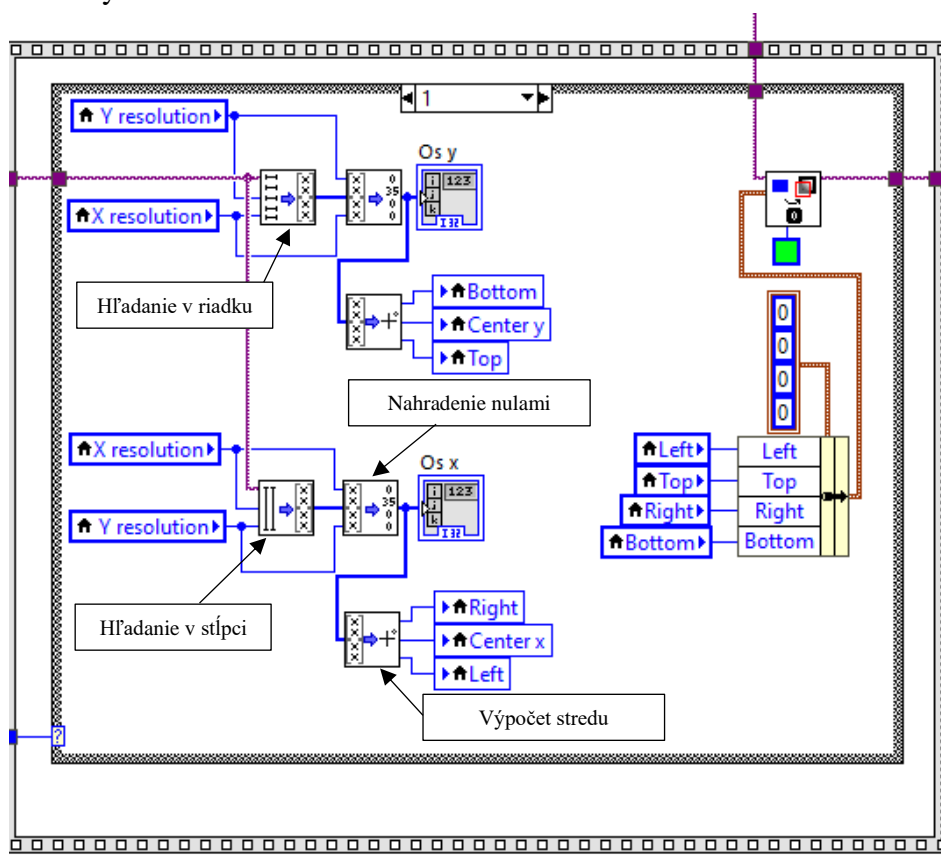
Príklad kódu pre hľadanie čipu je na obrázku 9.9. Prebieha postupne z ľavej strany do pravej, po zavolaní funkcie hľadania objektu. Snímok z kamery prejde cez filter, ktorý odstráni farebné odtiene, zistí rozlíšenie obrázku a zapíše ich do premenných (X resolution) a (Y resolution). Následne je obrázok uložený vo formáte PNG, na príslušnú adresu. V nasledujúcom bloku je funkcia načítania obrázku z príslušnej adresy, do dočasnej pamäte premennej (image2).



Obrázok 9.9 Algoritmus hľadania čipu

Uložený obrázok sa spracúva funkciami k hľadaniu v riadku a v stĺpci, ktoré porovnávajú dve susediace bunky poľa (pixeli obrázku). Určuje, či je medzi

nimi rozdiel, ktorý definuje hranu čipu. Pri detekcii hrany čipu sa uloží počet buniek poľa (pixelov), do pomocného poľa. Toto pole je následne vo funkcii (nahradenie nulami) upravené tak, že v riadkoch kde nebola nájdená hrana, je nula a v riadkoch kde bola nájdená hrana, je počet pixelov od kraja obrázku k hrane. Posledná funkcia (Výpočet stredu) spočíta počet za sebou idúcich detekcií čipu v osi X a Y a vypočíta ich okraje a stred, ktoré sa ďalej využívajú k ohraničeniu nájdeného čipu na obrázku. Hodnoty stredu sa využívajú k automatickému vystredeniu podľa nájdeného čipu, ktorého súradnice sa odpočítajú od absolútnej hodnoty a dopočíta sa potrebná vzdialenosť k vystredeniu s kontaktovacou hlavou.



Obrázok 9.10 Algoritmus detekcie hrany

9.1 Premenné pre jednotlivé krokové motory

Pre všetky využívané osi bolo potrebné stanoviť ich základné parametre, ktoré sa rozdeľujú na zapísateľné do pamäte EEPROM a zapísateľné do pamäte vymazanej po vypnutí. Parametre, ktoré sú vždy po vypnutí vymazané je nevyhnutné nastavovať vždy pri zapnutí prístroja, čo zabezpečuje v tomto programe blok (nastavenie parametrov). V bloku (nastavenie parametrov), ktorého princíp práce je opísaný v kapitole 9.3.2 sa nastavujú parametre pre všetky 4 využívané motory, ako je rýchlosť hľadania referenčného spínača, maximálny prúd pre krokový motor a prúd v nečinnosti

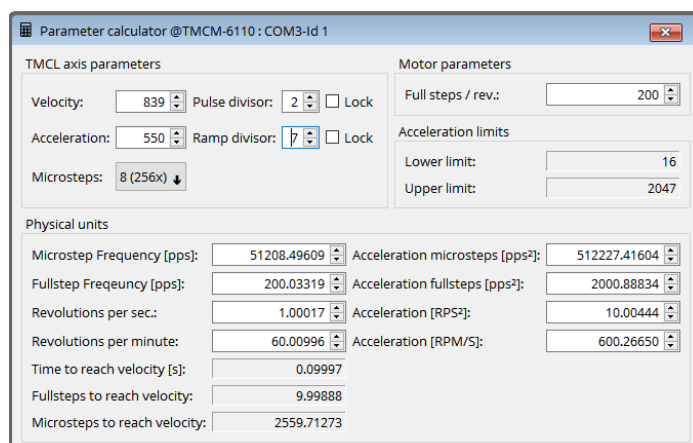
krokového motoru. V tabuľke 9.1 sú definované hodnoty pre jednotlivé osi.

Tabuľka 9.1 Nastavené parametre pre jednotlivé osi

	Os			
	X	Y	Z kamera	Z Kontaktovacia hlava
Max. rýchlosť hľadania [mm/s]	10	10	10	10
Max. prúd [A]	1,15	1,15	1,15	1,15
Prúd v nečinnosti [A]	0	0	0	0,46

Pre kontaktovaciu hlavu bol nastavený odlišný prúd v nečinnosti oproti ostatným osiam z dôvodu, že guľčková skrutka má väčšie stúpanie a to vytvára riziko stratenia pozície kontaktovacej hlavy. Nastavený prúd v nečinnosti zabezpečuje dostatočnú fixáciu.

Parametre zapísateľné do EEPROM sa ukladali do pamäte len raz a to za pomoci TMCL-IDE a funkcie TMCL creator. Ako prvý krok v TMCL-IDE bolo v Direct mode poslať príkaz pre továrenské nastavenia. Po tomto kroku sa cez funkciu TMCL creator nahrali a poslali príkazy pre nastavenie jednotlivých parametrov. Medzi nastavované parametre patrila aktivácia referenčných spínačov, doba prechodu po príkaze do nečinnosti, maximálna rýchlosť, maximálna akcelerácia, ramp divisor a pulse divisor. Požadovaná hodnota pre maximálnu rýchlosť je pre všetky osi 5 mm/s a zrýchlenie k maximálnej rýchlosti do 0,1s. Pre tieto hodnoty boli určené v TMCL parameter kalkulátor hodnoty, ktoré sa poslali v príkaze do pamäte EEPROM. Všetky príkazy sú uvedené v prílohe Zoznam príkazov pre EEPROM. Na obrázku 9.1 je ukážka hľadania vhodných hodnôt v TMCL parameter kalkulátore.

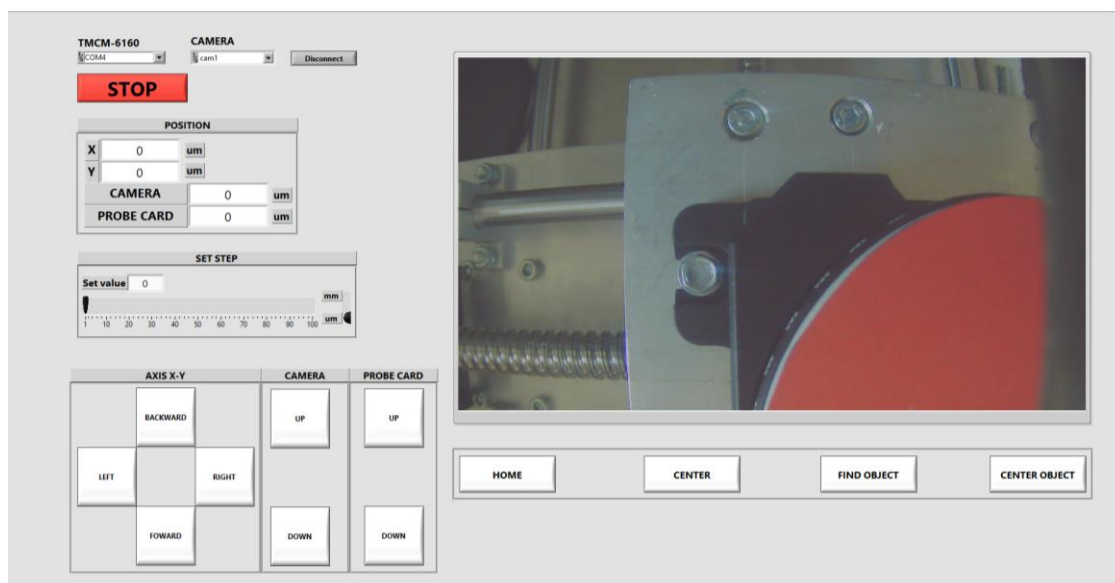


Obrázok 9.1 TMCL parameter kalkulátor

10 UŽÍVATEĽSKÉ PROSTREDIE

Na obrázku 10.1 je ukážka užívateľského prostredia vytvoreného v programe LabVIEW™. Užívateľské prostredie zabezpečuje komunikáciu medzi prístrojom a počítačom za pomoci dvoch USB portov. Adresa týchto USB portov sa vyberá v roletke (TMC-6160) pre riadiacu dosku a v roletke (CAMERA) pre kameru. Tlačidlo (Disconnect) slúži k ukončeniu komunikácie medzi prístrojom a užívateľským prostredím. Červené tlačidlo (STOP) je na núdzové zastavenie pohybu všetkých krokových motorov. V okne (POSITION) sa zobrazuje poloha k referenčnému bodu v μm . Okno (SET STEP) umožňuje nastaviť veľkosť kroku od 1 do 100 v jednotkách μm alebo mm. Pole (Set value) dopĺňa možnosť vpísania hodnoty kroku bez nutnosti manipulácie s jazdcom.

V spodnej časti v oknách (AXIS X-Y, CAMERA a PROBE CARD) stlačením tlačidla sa dáva príkaz k pohybu v danej osi a smere. Ak počas pohybu prístroja v osi je pre túto os daný nový príkaz, tak sa prístroj riadi podľa nového príkazu a pohne sa od aktuálnej polohy o vzdialenosť, ktorá bola definovaná posledným príkazom. Pohyb vo všetkých osiach je možné vykonávať v jednom čase. Program taktiež zabezpečuje i zobrazenie obrazu v reálnom čase, pod ktorým sa nachádza okno s doplnkovými funkciami, ktoré sú popísané v nasledujúcej kapitole.



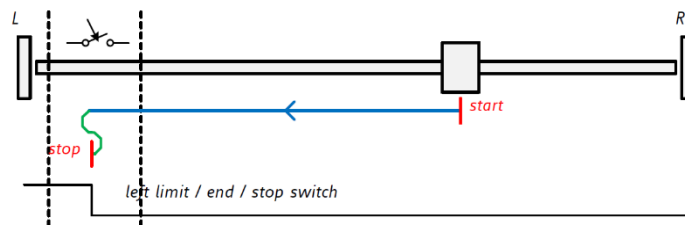
Obrázok 10.1 Užívateľské prostredie

10.1 Doplnkové funkcie

Doplnkové funkcie majú cieľ zefektívniť prácu s prístrojom a automatizovať niektoré úkony.

Funkcia (HOME) dá príkaz k nájdeniu referenčného bodu pre všetky osi. Pri hľadaní referenčného bodu nie je možné dať iný príkaz pre prístroj. Jediný príkaz, ktorý je možné dať, je núdzové zastavenie všetkých krokových motorov (STOP). Princíp hľadania referenčných bodov jednotlivých osí je zobrazený na obrázku 10.2.

Na modrej trase má motor definovanú vyššiu rýchlosť, ako na zelenej. K zníženiu rýchlosti dôjde po stlačení referenčného spínača, keď motor obráti svoj smer otáčania a pokračuje až k rozopnutiu spínača. Následne znovu obráti smer a pokračuje k stlačeniu referenčného spínača.



Obrázok 10.2 Diagram hľadania referenčného spínaču [30]

Funkcia (CENTER) vystredí plochu mikrometrického rotačného stolčeka so stredom kontaktovacej hlavy. Táto funkcia urýchľuje proces hľadania tým, že zmenšuje potrebnú manipuláciu s testovaným čipom.

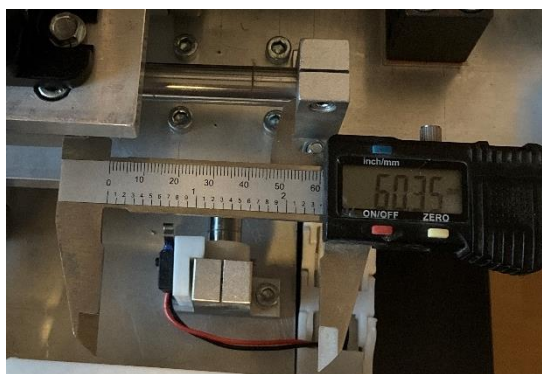
Funkcia (FIND OBJECT) ohraničí čip umiestnený na ploche mikrometrického rotačného stolčeka, ktorý má odlišnú farbu ako plocha. Nadväzujúca funkcia je (CENTER OBJECT), ktorá podľa ohraňovaného čipu vystredí stred čipu s kontaktovacou kartou. Funkcia urýchľuje proces kontaktovania s presným vycentrovaním tým, že po jej správnom vykonaní je možné realizovať kontaktovanie bez nutnosti korekcií.

11 PRESNOSŤ

Pri špecifikácii parametrov išlo o overenie vlastností prístroja v praxi. Merania sa realizovali za pomoci posuvného meradla s digitálnym displejom s presnosťou $\pm 10 \mu\text{m}$. Parametrami, ktoré sa overovali, bola opakovateľnosť a rovinnosť kontaktovacej plochy voči kontaktovacej hlave.

11.1 Opakovateľnosť

Opakovateľnosť pre prístroj je definovaná, ako zmena vzdialenosti voči referenčnému bodu, po zadaní príkazu pohybu o definovanú hodnotu v jednom smere a následne, o tu istú hodnotu v opačnom smere. Daný test bol vykonaný bez žiadnej pridanej záťaže, pretože ani v praxi nebude prístroj vystavovaný záťaži. Spôsob merania je zobrazený na obrázku 11.1. Merania pre všetky osi boli vykonané 10 krát za sebou, aby sa predišlo chybe ľudského faktora. Výsledky boli spracované, ako aritmetický priemer pre jednotlivé osi v tabuľke 11.1. Prakticky však meranie bolo limitované presnosťou posuvného meradla, ktorá bola $\pm 10 \mu\text{m}$ a to viedlo k tomu, že nebolo možné zmerať reálnu opakovateľnosť prístroja. Pre všetky osi teda vyšla rovnaká opakovateľnosť, ktorá bola limitovaná presnosťou posuvného meradla.



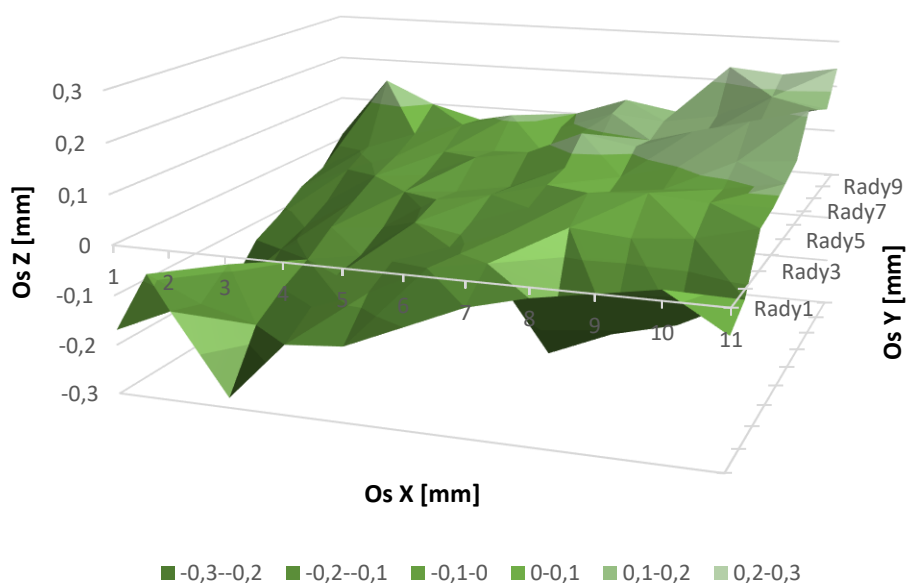
Obrázok 11.1 Testovanie opakovateľnosti

Tabuľka 11.1 Výsledky opakovateľnosti

Os			
X [μm]	Y [μm]	Z kamera [μm]	Z kontaktovacia hlava [μm]
± 10	± 10	± 10	± 10

11.2 Rovinnosť kontaktovacej plochy

Rovinnosť kontaktovacej plochy bola meraná voči kontaktovacej hlave. Rovnobežnosť týchto plôch je veľmi dôležitá, lebo na nich dochádza ku kontaktovaniu. Meranie bolo realizované na 100 bodoch, rovnomerne rozložených na štvorci o hrane 100 mm. Hodnoty získané meraním sú zobrazené graficky na obrázku 11.2.



Obrázok 11.2 Graf rovinnosti

Podľa nameraných hodnôt sa určila priemerná odchylka od stredu, vypočítaná ako

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 93 \mu\text{m}. \quad (11.1)$$

Na základe obrázku 11.2 je vidieť, že veľké rozdiely v rovinnosti sú hlavne pri krajoch, ktoré sa však nebudú využívať, preto sa môžu zanedbať. Jednotlivé body merania sú od seba vzdialené 10 mm. Týmto meraním išlo o určenie, kde je kontaktovacia plocha naklonená a aké úpravy v budúcnosti je potrebné vykonať. V praxi priemerná odchylka znamená to, že pri kontaktovaní plošného spoja s rozmerom 10 mm krát 10 mm, by mohlo dôjsť nakloneniu jedného rohu voči druhému o 93 μm.

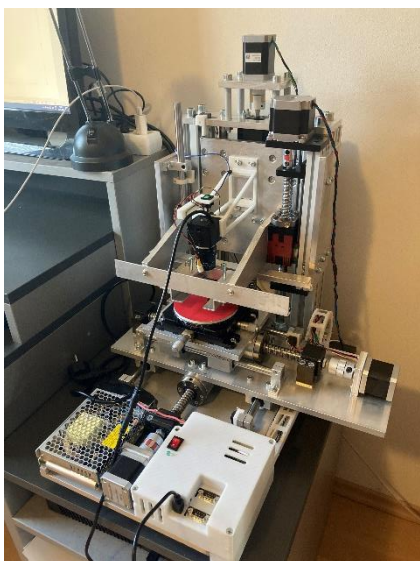
12 POROVNANIE PARAMETROV

V tejto kapitole sa porovnáva jeden z najlacnejších manuálnych prístrojov k testovaniu polovodičových čipov na kremíkovej doske. Je zobrazený na obrázku 12.2 a vyrába ho firma Signatone. Jeho označenie je Signatone CM460-22. Cena tohto prístroja začína na 1 250 000 Kč podľa zvoleného príslušenstva. Základné parametre sú uvedené v tabuľke 12.1.

Na obrázku 12.1 je realizovaný prístroj, ktorého cena súčiastok bola 48 950 Kč a je uvedená v tabuľke 12.2. Základné parametre realizovaného prístroja sú uvedené v tabuľke 12.1. Prístroj obsahuje možnosti pohybu za pomoci krokových motorov, alebo pomoci mikrometrického stolčeka. Základné parametre oboch možností pohybu sú v tabuľke 12.1.

Rozlíšenie pohybu za pomoci krokových motorov je stanovené programom k ovládaniu, ktorý má nastavené najmenšie rozlíšenie kroku na 1 μm . Opakovateľnosť bola testovaná metódou ktorá je opísaná v kapitole 11.1. Presnosť je stanovená podľa dokumentácie [29], ako maximálna vôľa guľčikovvej matice a skrutky.

Špecifikované parametre v tabuľke 12.1 pre mikrometrický stolček sú uvedené okrem opakovateľnosti, ktorá je ovplyvnená užívateľom a presnosti, ktorú výrobca neudáva.



Obrázok 12.1 Realizovaný prístroj



Obrázok 12.2 Signatone CM460-22 [31]

Tabuľka 12.1 Parametre realizovaného prístroja a Signatone CM460-22 [31] [16] [29]

	Realizovaný prístroj		Signatone CM460-22
	Krokové motory	Mikrometrický stolček	
Pohyb [mm]	100	13	150
Rozlíšenie [μm]	1	1	1
Opakovateľnosť [μm]	± 10	-	± 1
Presnosť [μm]	± 25	-	± 3

Tabuľka 12.2 Náklady na realizovaný prístroj

Názov	Cena [Kč]
Hliník	7000
Spojovací materiál	500
Lineárna technika	16000
Krokové motory	2100
Riadiaca doska	5300
Zdroj	500
Elektronika	500
Kamera	1800
Mikrometrický stolček	15250
Výsledná cena	48950

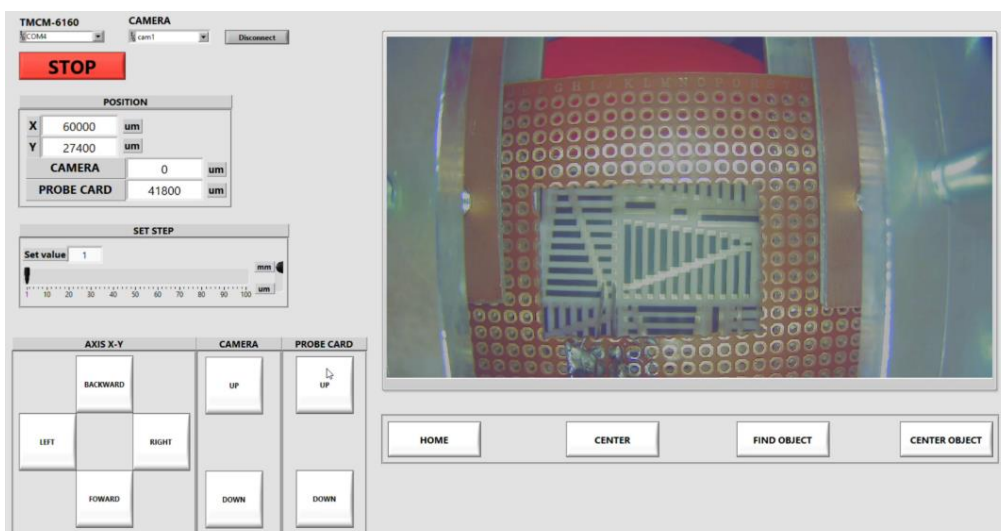
Medzi hlavné výhody patri motorizovaný pohyb vo všetkých osiach a možnosť manuálneho dostavenia za pomoci mikrometrického rotačného stolčeka. Ďalej možnosť kontaktovať s kartami so sondami, ako aj mikroposuvmi so sondami. A hlavne funkcia automatickej detekcie a vystredenie čipu s kontaktovacou kartou.

13 PRAKTICKÝ TEST

Praktický test bol realizovaný na čipe a keramickej doske s hrubovrstvými rezistormi. Pri testovaní išlo o overenie možnosti kontaktovania. Výsledky získané pri testovaní sa budú môcť využiť pri ďalších úpravách kontaktovacej hlavy a voľby vhodného mikroskopu. Kontaktovacia karta pre oba prípady bola vyrobená v domácich podmienkach za pomoci špendlíkov, ktoré boli využité miesto špeciálnych ihličiek.

13.1 Kontaktovanie hrubovrstvého rezistoru

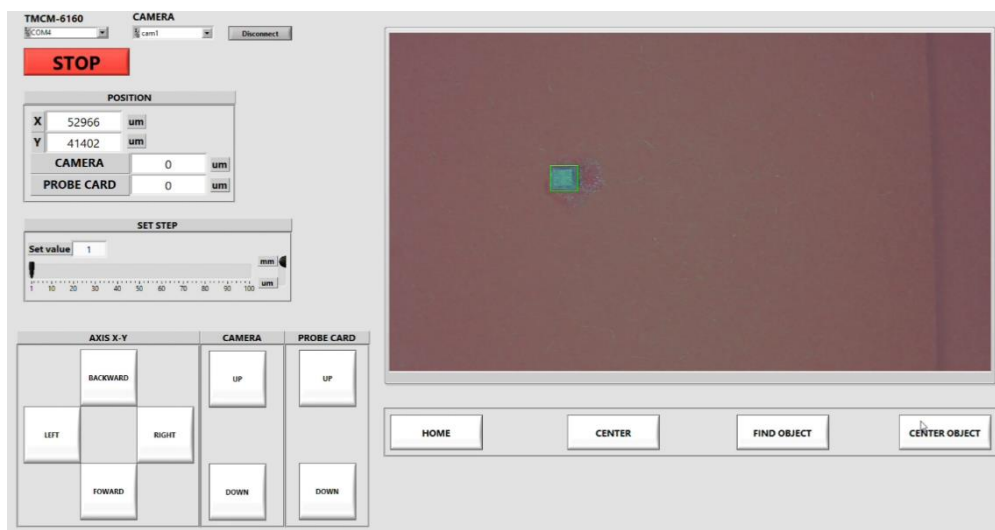
Kontaktovanie hrubovrstvých rezistorov na keramickej doske je zobrazené na obrázku 13.1. Pri kontaktovaní sa pomocou obrazu z kamery vystredili kontaktovacie ihličky s vodivými plôškami rezistoru. Po dosadení kontaktovacej karty so sondami na plôšky bol multimetrom odmeraný odpor rezistoru.



Obrázok 13.1 Kontaktovanie hrubovrstvého rezistoru

13.2 Detekcia čipu

Pre detekciu čipu bol využitý čip vyrezaný z kremíkovej dosky, o rozmere približne 1 mm x 2 mm. Na obrázku 13.2 je zobrazená ukážka korektnej detekcie čipu, podľa ktorej bol čip automaticky vystredený s kontaktovacou kartou so sondami. Po tomto vystredení bolo možné realizovať kontaktovanie. Pre veľmi malé čipy je potrebný mikroskop lebo kamera nezabezpečuje dostatočné zväčšenie.



Obrázok 13.2 Detekcia čipu

14 ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo navrhnúť poloautomaticky polohovací prístroj k testovaniu polovodičových čipov, s využitím súčiastok z nefunkčného prístroja vizuálnej inšpekcie. K tomuto prístroju bolo potrebné vytvoriť aj program so základnými funkciami k ovládaniu a spracovaniu obrazu z kamery s detekciou čipu.

Prvá časť práce rozoberala problematiku a metodiku testovania polovodičových čipov na kremíkových doskách. Rozdeľuje metódy kontaktovania, na metódu za pomoci mikroposuvov so sondami a za pomoci kariet so sondami. Definuje ich základné parametre a využitie. Ďalej sú porovnané základné parametre komerčných prístrojov pre test polovodičových čipov.

V druhej časti sa práca zaoberala stanovením nedostatkov na nefunkčnom zariadení vizuálnej inšpekcie a riešením týchto konštrukčných problémov. Výsledkom tejto časti bolo vytvorenie 3D modelu v programe Autodesk Fusion 360® s efektívnym a spoľahlivým rozložením jednotlivých súčiastok. Taktiež i navrhnutím osi pre mikroskop, kontaktovaciu hlavu a zvolením vhodných súčiastok na nákup.

V tretej časti bol opísaný postup skladania jednotlivých obrobených súčiastok a s tým spojené riešenia problémov pri nepresne navrhovaných dierach, krivosti hliníkových profilov a podobne.

Predposledná časť sa zaoberala vytvorením užívateľského prostredia pre ovládanie prístroja za pomoci počítaču. Program bol vytvorený v programe LabVIEW™ a poskytuje základné funkcie k ovládaniu všetkých osí, zobrazenie obrazu z kamery, funkciu automatickej detekcie čipu a vystredenie s kontaktovacou hlavou.

V závere bola testovaná opakovateľnosť krokov, rovinnosť kontaktovacej hlavy voči mikrometrickému stolčeku, praktické využitie pri testovaní hrubovrstvých rezistorov a detekcie vyrezaného čipu z kremíkovej dosky. Taktiež boli porovnané základné parametre prístroja s komerčným prístrojom.

Tým, že v praxi bola otestovaná správna funkčnosť prístroja, bol cieľ práce splnený. Vytvorený prístroj predstavuje lacnejšiu alternatívu oproti komerčným prístrojom s porovnateľnými parametrami a väčšou možnosťou využitia. Prístroj je určený nielen pre test čipov, ale zabezpečuje aj iné možnosti, ako napríklad vizuálnu inšpekciu, test za pomoci kariet so sondami, test za pomoci mikroposuvov so sondami a automatickú detekciu a vystredenie čipu.

LITERATÚRA

- [1] Prober accessories: Micro positioners. In: wentworthlabs [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.wentworthlabs.com/wp-content/uploads/2020/10/Micro-Positioners.pdf>
- [2] Prober accessories: CANTILEVER PROBE CARDS. In: wentworthlabs [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.wentworthlabs.com/wp-content/uploads/2020/10/Cantilever-Probe-Cards.pdf>
- [3] MPI TS3000 Series. In: mpi-corporation [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.mpi-corporation.com/wp-content/uploads/ASTPDF/MPI-TS3000-Automated-Probe-System-Data-Sheet.pdf>
- [4] Manual analytical probers. In: wentworthlabs [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.wentworthlabs.com/wp-content/uploads/2020/10/Pegasus-M200FA-and-M300FA-Manual-Probers.pdf>
- [5] ROLNÍČKOVÉ VEDENIE. In: teatechnik [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.sk/rolnickove-vedenie/>
- [6] Jaká je účinnost řemenových převodů? . In: tymba [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.tymba.cz/technicke-informace/caste-dotazy/ucinnost-remenu/>
- [7] Výber pohybovej skrutky. In: cncprislusenstvo [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.cncprislusenstvo.sk/ako-na-stavbu-cnc-stroja/vyber-pohybovej-skrutky/>
- [8] SD Pohybové šrouby a matice. In: hennlich [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: https://www.hennlich.sk/fileadmin/_migrated/DryLin_pohybov%C3%A9_%C5%A1rouby_a_matic.pdf
- [9] Přehled trapézových šroubů a matic. In: matis [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: https://www.matis.cz/data/pdf-katalogy/Katalog_pohybove_srouby/matis_katalog_kulickove_srouby.pdf

- [10] KROKOVÉ MOTOR. In: kves.uniza [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z:
<http://www.kves.uniza.sk/kvesnew/dokumenty/%C5%A1es/Krokov%C3%A9%20motory/Krokove%20motory.pdf>
- [11] ŘÍZENÍ CNC FRÉZKY .In: vutbr [online]. [cit. 2020-11-26]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=172279
- [12] KROKOVÝ MOTOR. In: shop.eufactory [online]. 2020 [cit. 2020-10-17].
Dostupné z: https://shop.eufactory.com/blog/12_krokovy-motor-uvod
- [13] Zemčík, M. NÁVRH A ANALÝZA KŘÍŽOVÉHO STOLU, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2018, 37 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Tůma, Ph.D.
- [14] TMCM-6110. In: trinamic [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z:
<https://www.trinamic.com/products/modules/details/tmcm-6110/>
- [15] Motor Control Technology. In: trinamic [online]. 2020 [cit. 2020-10-17].
Dostupné z: <https://www.trinamic.com/technology/motor-control-technology/>
- [16] XY Translation Stages with Rotating Platform. In: thorlabs [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z:
https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=3693&pn=XYR1
- [17] Bright LED Electronics. In: gme [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z:
<https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.511-226.1.pdf>
- [18] Luckylight. In: gme [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z:
<https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.960-494.1.pdf>
- [19] Positive voltage regulator ICs. . In: st [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/178.pdf>
- [20] LRS-150-24. In: tme [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z:
<https://www.tme.eu/sk/details/lrs-150-24/zdroje-pre-zabudovanie/mean-well/>
- [21] WHAT IS LABVIEW?. In: ni [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z:
<https://www.ni.com/cs-cz/shop/labview.html>

- [22] National Instruments LabVIEW. In: journals.sagepub [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1016/j.jala.2006.07.012>
- [23] IMAQdx Open Camera VI. In: documentation.help [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: https://documentation.help/NI-IMAQdx-VI/IMAQdx_Open_Camera.html
- [24] IMAQdx Configure Grab VI. In: documentation.help [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: https://documentation.help/NI-IMAQdx-VI/IMAQdx_Configure_Grab.html
- [25] VISA Configure Serial Port VI. In: zone.ni [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361R-01/lvinstio/visa_configure_serial_port/#parent
- [26] VISA Write Function. In: zone.ni [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361R-01/lvinstio/visa_write/
- [27] IMAQdx Grab VI. In: documentation.help [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: https://documentation.help/NI-IMAQdx-VI/IMAQdx_Grab.html
- [28] IMAQ Create VI. In: zone.ni [online]. 2020 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370281AG-01/imaqvision/imaq_create/
- [29] SFI matice jednoduchá. In: cncshop [online]. 2010 [cit. 2021-4-20]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/sfi-matice-jednoducha>
- [30] TMCM-6110 TMCL™ Firmware Manual. In: trinamic [online]. 2013 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: https://www.trinamic.com/fileadmin/assets/Products/Modules_Documents/TMC_M-6110_TMCL-firmware_manual.pdf
- [31] CM460 Semi-Automatic Probe Station. In: signatone [online]. 2021 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.signatone.com/products/probestations/cm460.asp>

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
RF	Radio frekvencia
FR4	Flame retardant
DC	Jednosmerný prúd
CNC	Číslicovo riadené
3D	Trojrozmerný priestor
ARM	Acorn RISC Machine
USB	Universal Serial Bus
CAN	Controller Area Network
LED	Light-Emitting Diode
PC	Personal computer
RPM	Revolutions per minute
PNG	Portable Network Graphics

Symboly:

M_{stat_x}	Statický krútiaci moment pre os X	(Nm)
M_{stat_y}	Statický krútiaci moment pre os Y	(Nm)
M_{stat_z}	Statický krútiaci moment pre os Z	(Nm)
$M_{stat_z_kam}$	Statický krútiaci moment pre os Z kamery	(Nm)
F_{max_x}	Sila pôsobiaca na os X	(N)
F_{max_y}	Sila pôsobiaca na os Y	(N)
F_{max_z}	Sila pôsobiaca na os Z	(N)
$F_{max_z_kam}$	Sila pôsobiaca na os Z kamery	(N)
P_h	Stúpanie guľčikovėj skrutky	(m/ot)
η_c	Účinnosť prenosu pohybu	(-)
I_{max}	Maximálny prúd	(A)
I_{motor}	Prúd krokového motoru	(A)
I_{TMC}	Prúd riadiacej dosky	(A)
I_{svetlo}	Prúd osvetlenia	(A)
R_1	Odpor R1	(Ω)
R_2	Odpor R2	(Ω)

R_3	Odpor R3	(Ω)
U_{in}	Napätie zdroja	(V)
U_{fD1}	Napätie na diode D1	(V)
I_{D1}	Prúd diodou D1	(A)
U_{fD2}	Napätie na diode D2	(V)
I_{D2}	Prúd diodou D2	(A)
P_{R1}	Stratový výkon na rezistore R1	(W)
P_{R2}	Stratový výkon na rezistore R2	(W)
P_{R3}	Stratový výkon na rezistore R3	(W)
P_{U1}	Stratový výkon na regulátora napätia U1	(W)
U_{out}	Výstupné napätie z regulátora napätia	(V)
μ	Aritmetický priemer	(-)
n	Rozsah súboru	(-)
x_i	Jednotlivé hodnoty	(-)

ZOZNAM PRÍLOH

Příloha A - Zoznam príkazov pre EEPROM

Příloha B - Zoznam položiek k nákupu

Příloha C.1 – Výkres hlavnej dosky

Příloha C.2 – Výkres dosky Y

Příloha C.3 – Výkres dosky kontaktovacej

Příloha C.4 – Výkres dosky Z vrchnej

Příloha C.5 – Výkres dosky Z

Příloha A - Zoznam príkazov pre EEPROM

```
SAP 13, 0, 0          //aktivácia koncove spínača pre motor 0
STAP 13, 0          //uloženie nastavenia koncového spínaču pre motor 0 do
EEPROM
SAP 13, 1, 0          //aktivácia koncove spínača pre motor 1
STAP 13, 1          //uloženie nastavenia koncového spínaču pre motor 1 do
EEPROM
SAP 13, 2, 0          //aktivácia koncove spínača pre motor 2
STAP 13, 2          //uloženie nastavenia koncového spínaču pre motor 2 do
EEPROM
SAP 13, 3, 0          //aktivácia koncove spínača pre motor 3
STAP 13, 3          //uloženie nastavenia koncového spínaču pre motor 3 do
EEPROM

SAP 214, 0, 10        //doba prechodu po príkaze do nečinnosti 100ms
pre motor 0
STAP 214, 0          // uloženie doby prechodu pre motor 0 do EEPROM
SAP 214, 1, 10        //doba prechodu po príkaze do nečinnosti 100ms
pre motor 1
STAP 214, 1          // uloženie doby prechodu pre motor 0 do EEPROM
SAP 214, 2, 10        //doba prechodu po príkaze do nečinnosti 100ms
pre motor 2
STAP 214, 2          // uloženie doby prechodu pre motor 0 do EEPROM
SAP 214, 3, 10        //doba prechodu po príkaze do nečinnosti 100ms
pre motor 3
STAP 214, 3          // uloženie doby prechodu pre motor 0 do EEPROM

SAP 4, 0, 839         //maximálna rýchlosť pre motor 0
STAP 4, 0          // uloženie maximálnej rýchlosti pre motor 0 do EEPROM
SAP 4, 1, 839         //maximálna rýchlosť pre motor 1
STAP 4, 1          // uloženie maximálnej rýchlosti pre motor 1 do EEPROM
SAP 4, 2, 839         //maximálna rýchlosť pre motor 2
STAP 4, 2          // uloženie maximálnej rýchlosti pre motor 2 do EEPROM
SAP 4, 3, 839         //maximálna rýchlosť pre motor 3
STAP 4, 3          // uloženie maximálnej rýchlosti pre motor 3 do EEPROM
```

```

SAP 5, 0, 550          //maximálna akcelerácia pre motor 0
STAP 5, 0              // uloženie maximálnej akcelerácia pre motor 0 do
EEPROM
SAP 5, 1, 550          //maximálna akcelerácia pre motor 1
STAP 5, 1              // uloženie maximálnej akcelerácia pre motor 1 do
EEPROM
SAP 5, 2, 550          //maximálna akcelerácia pre motor 2
STAP 5, 2              // uloženie maximálnej akcelerácia pre motor 2 do
EEPROM
SAP 5, 3, 550          //maximálna akcelerácia pre motor 3
STAP 5, 3              // uloženie maximálnej akcelerácia pre motor 3 do
EEPROM

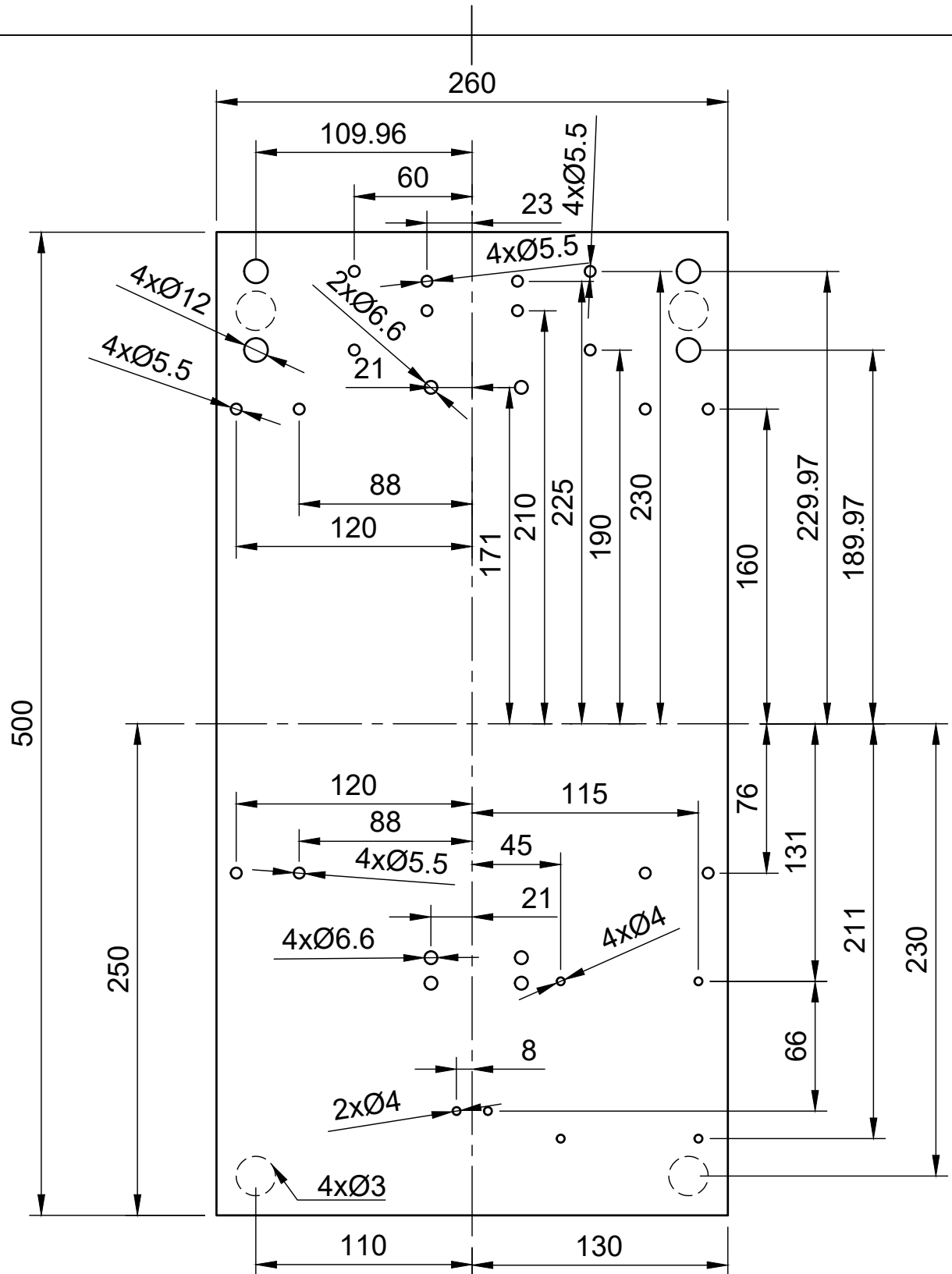
SAP 153, 0, 7          //Ramp divisor pre motor 0
STAP 153, 0            // uloženie Ramp divisor pre motor 0 do EEPROM
SAP 153, 1, 7          //Ramp divisor pre motor 1
STAP 153, 1            // uloženie Ramp divisor pre motor 1 do EEPROM
SAP 153, 2, 7          //Ramp divisor pre motor 2
STAP 153, 2            // uloženie Ramp divisor pre motor 2 do EEPROM
SAP 153, 3, 7          //Ramp divisor pre motor 3
STAP 153, 3            // uloženie Ramp divisor pre motor 3 do EEPROM

SAP 154, 0, 2          //Pulse divisor pre motor 0
STAP 154, 0            // uloženie Pulse divisor pre motor 0 do EEPROM
SAP 154, 1, 2          //Pulse divisor pre motor 1
STAP 154, 1            // uloženie Pulse divisor pre motor 1 do EEPROM
SAP 154, 2, 2          //Pulse divisor pre motor 2
STAP 154, 2            // uloženie Pulse divisor pre motor 2 do EEPROM
SAP 154, 3, 2          //Pulse divisor pre motor 3
STAP 154, 3            // uloženie Pulse divisor pre motor 3 do EEPROM

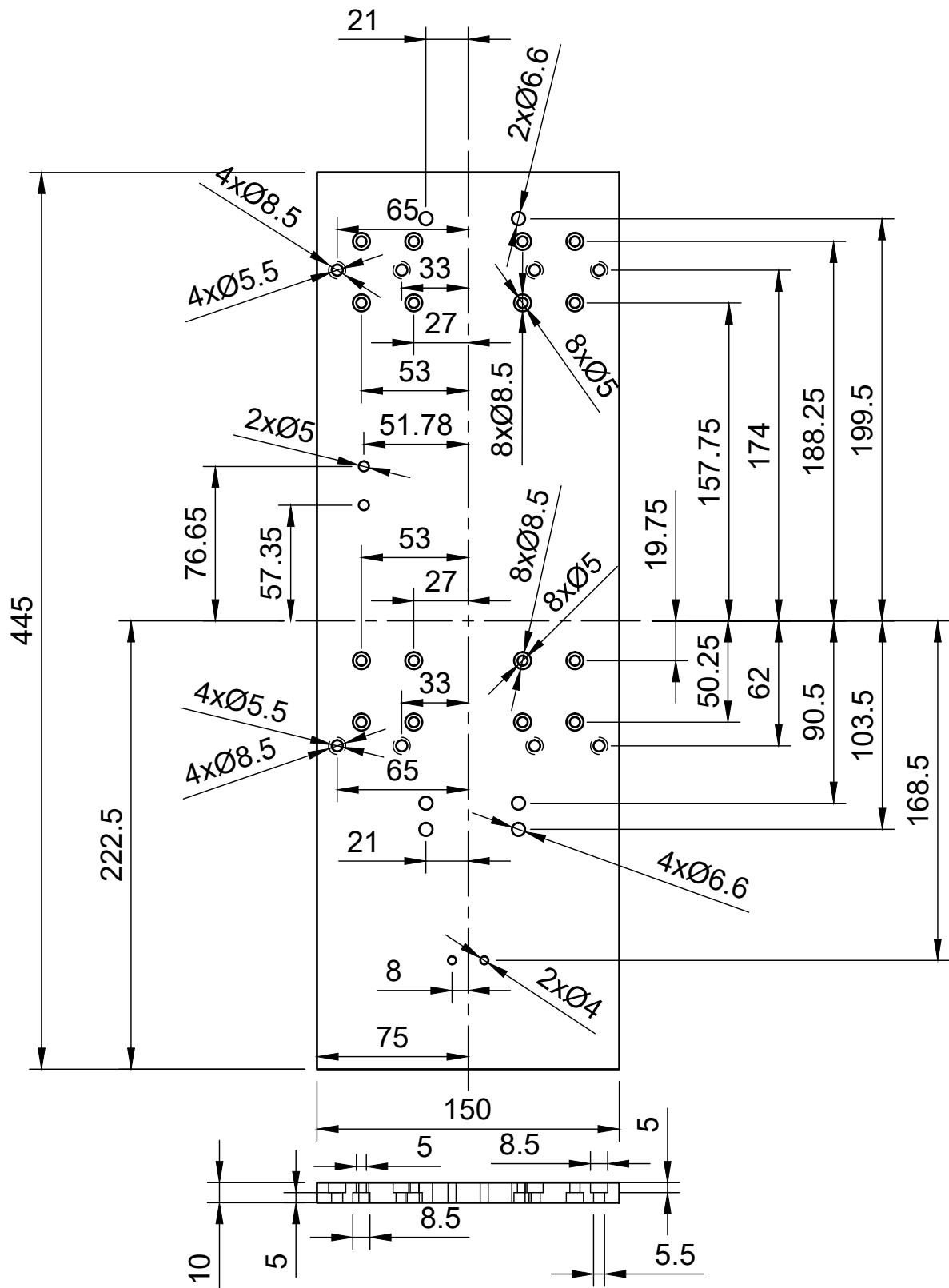
```


Příloha B - Zoznam položiek k nákupu

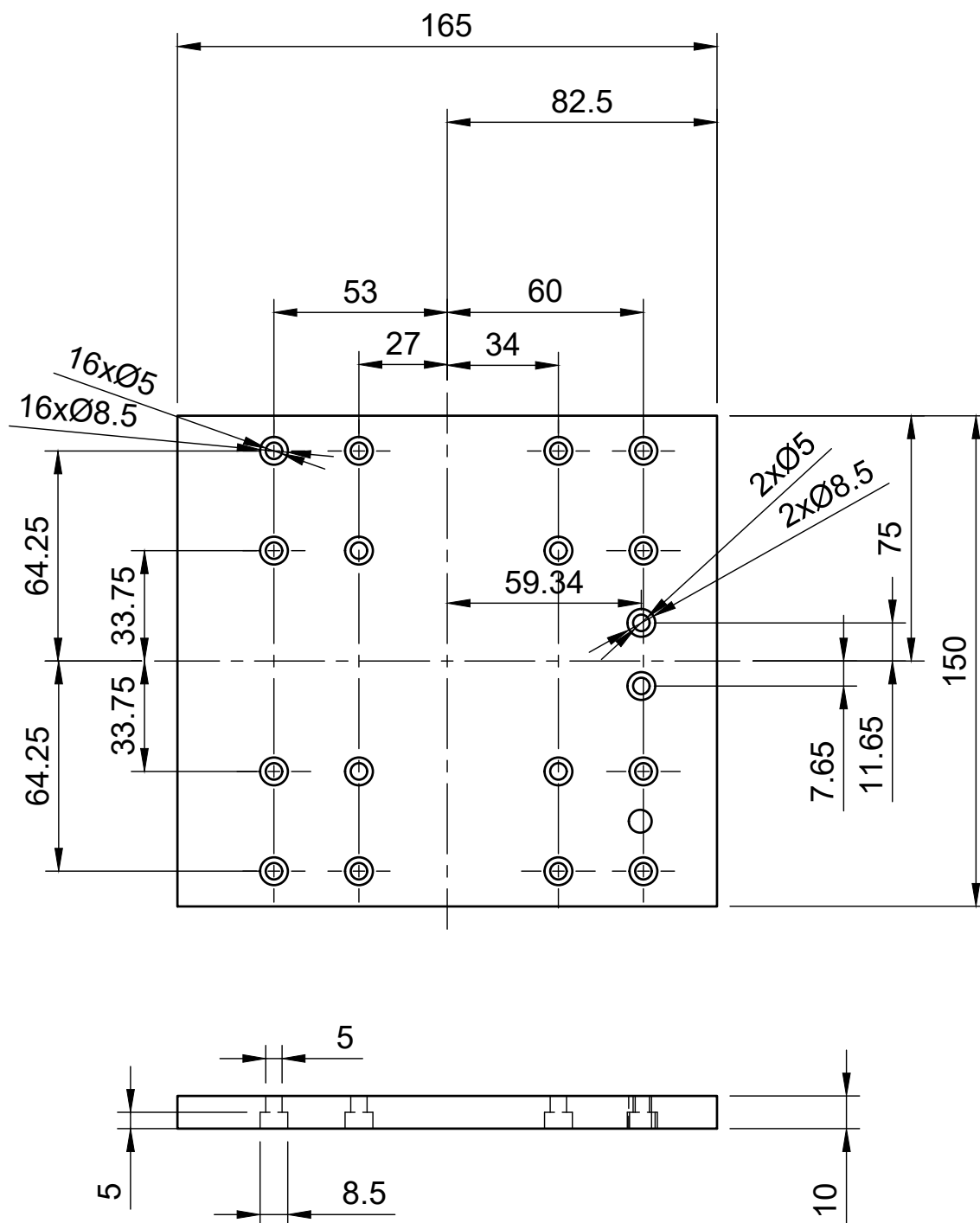
Názov	Počet kusov	(rozmery [mm], model)	Cena za kus [Kč]	Cena dokopy [Kč]	Dodávateľ
Doska pre os Z	1	150x170x10			www.alms-brno.cz
Podložky pre vozíky	12	42x36x10			
Doska vrchná pre os Z	1	260x80x10			
Doska pre osadenie čipu	1	100x140x10			
Doska pre os Y	1	450x150x10			
Doska pre úchyt Nema17	1	50x80x10			
Podložky pre úchyt Nema17	2	40x50x10			
Doska základná pre os X	1	500x260x10			
Podložky pre guľčkové matice	3	27x26x10			
Podložky	2	30x38x10			
Doska pre kontaktovanie	1	150x250x10			
Profil pre os Z	2	80x40x440	400	800	www.eprofily.cz
SHF16 uchytenie vodiacich tyčí	4	SHF16	140	560	www.cncshop.cz
BK10 úchyt guľčkovėj skrutky	1	BK10	1295	1295	www.cncshop.cz
BF10 úchyt guľčkovėj skrutky	1	BF10	650	650	www.cncshop.cz
SMA16 lineárny vozík	4	SMA16	340	1360	www.cncshop.cz
SMA12 lineárny vozík	1	SMA12	240	240	www.cncshop.cz
Guľčková skrutka	1	SCR16x460	1 850	851	www.cncshop.cz
Guľčková matica	1	SFISFI01605-4	1 940	1940	www.cncshop.cz
Krokový motor	1	42CM08	711	711	www.cncshop.cz
Pružná spojka	1	LK20-C25-5/5	335	335	www.cncshop.cz
Rotačný stolček	1	XYR1/M	15250	15250	www.thorlabs.com
Lineárny modul k kontaktovaniu	1	Nema11	4000	4000	www.fuyumotion.com
Výsledná cena [Kč]				27992	



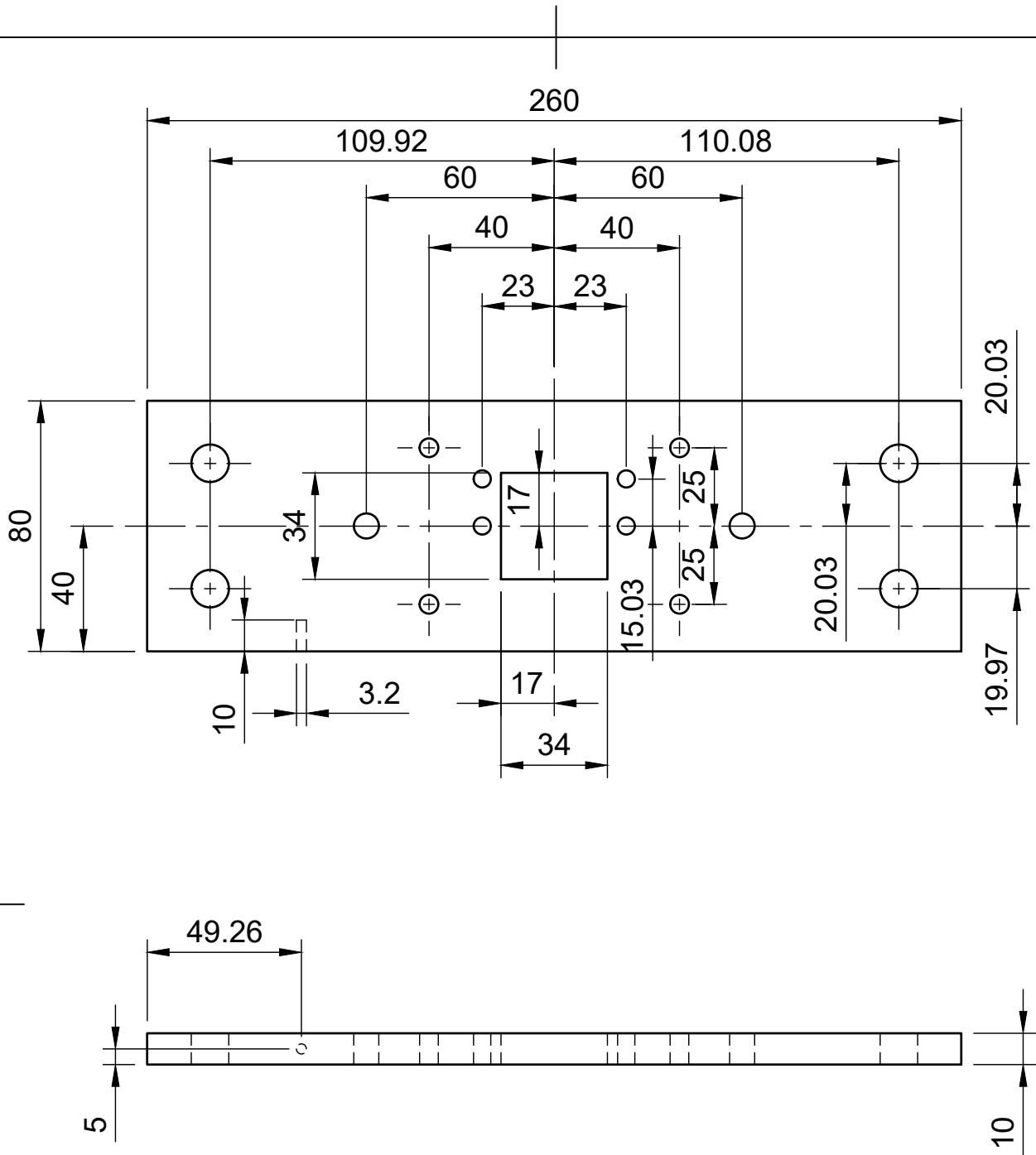
Dept.	Technical reference 1:3	Created by Tomas Kotian 26. 5. 2021	Approved by		
Diery ktoré nemaju kótu ku stredovej osi, platí pre ne rovnaká vzdialenosť ako pre diery ktoré su k nim oproti.		Document type	Document status		
		Title Hlavná doska	DWG No.		
			Rev.	Date of issue	Sheet 1/5



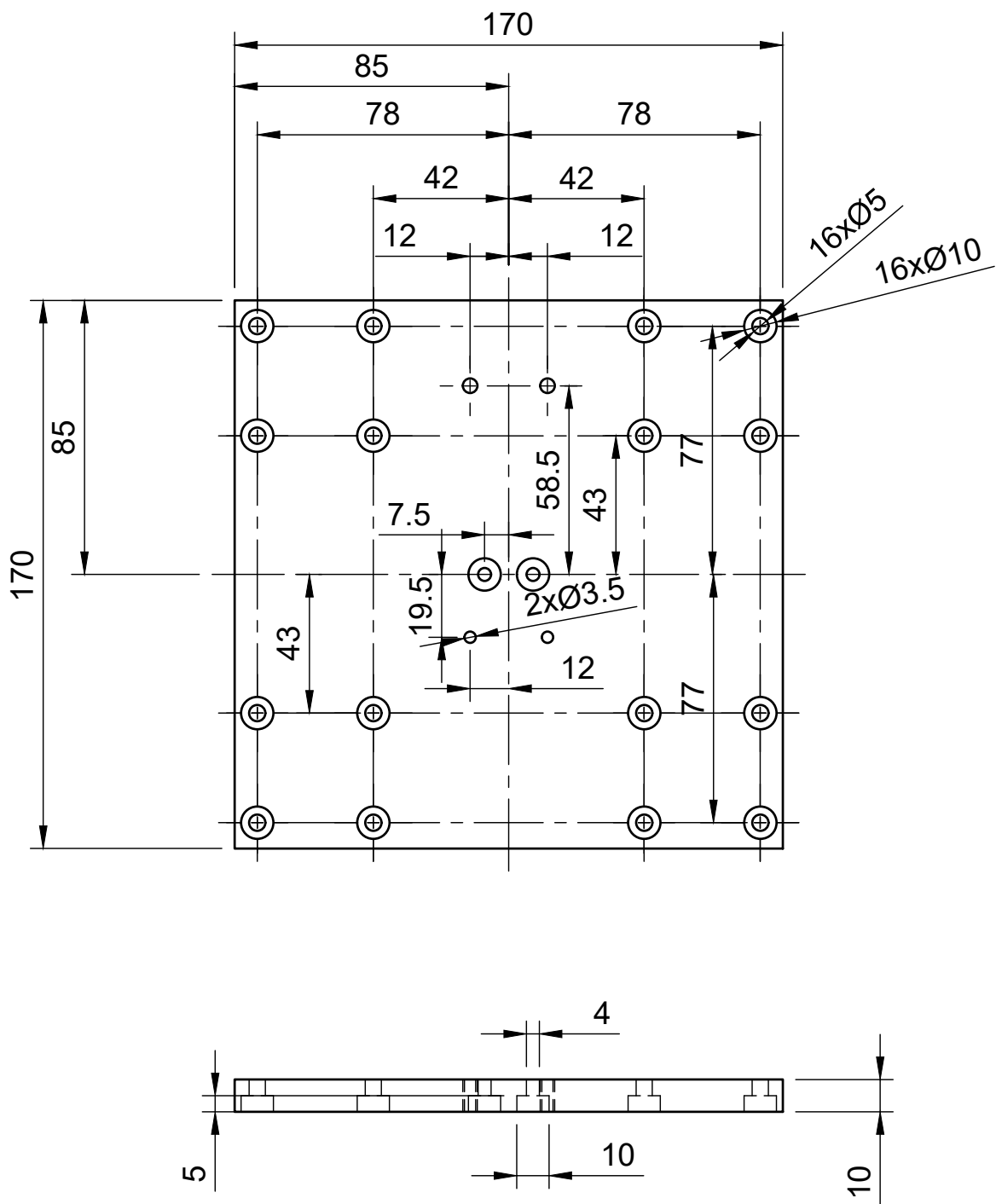
Dept.	Technical reference 1:3	Created by Tomas Kotian 26. 5. 2021	Approved by	
Diery ktoré nemaju kótu ku stredovej osi, platí pre ne rovnaká vzdialenosť ako pre diery ktoré su k nim oproti.		Document type	Document status	
		Title Doska Y	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet 2/5



Dept.	Technical reference 1:2	Created by Tomas Kotian 26. 5. 2021	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title Doska kontaktovacia	DWG No.	
			Rev.	Date of issue
			Sheet 3/5	



Dept.	Technical reference 1:2	Created by Tomas Kotian 26. 5. 2021	Approved by
		Document type	Document status
		Title Doska Z vrchna	DWG No.
		Rev.	Date of issue Sheet 4/5



Dept.	Technical reference 1:2	Created by Tomas Kotian 26. 5. 2021	Approved by
		Document type	Document status
		Title Doska Z	DWG No.
		Rev.	Date of issue
		Sheet	5/5